CONGRÈS GÉOLOGIQUE INTERNATIONAL.

4me SESSION—LONDRES, 1888.

ÉTUDES

SUR LES

SCHISTES CRISTALLINS.

Presentés par leurs auteurs sur l'invitation du Comité d'organisation.

LONDRES:

1888.

TABLE DES MATIÈRES.

LES SCHISTES CRISTALLINS.

Par

M. LE DR. T. STERRY HUNT.

I.

§ 1. Comme préliminaire à l'étude des schistes cristallins, il convient de considérer le problème de l'origine des roches cristallines en général, que souvent l'on distingue de celles qui en dérivent par dégradation chimique ou mécanique en les nommant ROCHES PRIMAIRES OU PRIMITIVES. La désignation de roches cristallines laisse quelque chose à désirer, vu qu'associées aux amas ayant droit à ce titre, et confondues avec eux géologiquement, se rencontrent quelques espèces, telles que la serpentine, l'obsidienne, la perlite, et autres, qui ne sont pas cristallines mais bien de nature colloïdale, ou suivant la désignation de Breithaupt, porodique. Les roches primaires, comprenant sous ce nom à la fois les roches cristallines et les roches porodiques, se divisent au point de vue géologique en trois catégories.

1°. Amas plus ou moins distinctement stratiformes, y compris le granit fondamental, les gneiss, les schistes micacés, amphiboliques, etc., enfin toutes les roches formées, d'après l'école de Werner, par suite de déposition lente au fond d'un liquide aqueux, et que nous appelons ROCHES INDIGÈNES. 2°. Amas ayant avec les roches indigènes des ressemblances minéralogiques assez fortes, mais qui paraissent avoir été formées par déposition lente au milieu de roches préexistantes, dans lesquelles ils se présentent à l'état de filons ou d'amas secondaires, et que par conséquent nous appelons ROCHES ENDOGÈNES. 3°. Amas ayant avec les roches endogènes des ressemblances à la fois minéralogiques et géognostiques, mais distingués par le fait qu'ils paraissent avoir atteint leur position actuelle non pas par déposition lente, mais par suite de déplacements ayant eu lieu lorsqu'ils étaient dans un état plus ou moins liquide ou pâteux. Ces

amas, que nous désignons ROCHES EXOTIQUES, quelque soit leur période géologique, comme nous chercherons à le faire voir par la suite, doivent être regardés ou comme des portions plus ou moins modifiées de la matière plutonique originaire du globe, ou bien des portions déplacées de roches indigènes ou endogènes, et dans tous les cas se rattachent aux roches primaires.

§ 2. Sans tenir compte de la manière de voir de Lehmann qui, dans le siècle passé, soutenait que les roches de la première catégorie, désignées par lui roches primitives, avaient été créées telles que nous les voyons, on peut dire que les géologues de notre temps se trouvent partagés en deux classes, selon qu'ils admettent pour ces roches (1) une origine ignée ou plutonique; (2) une origine aqueuse ou neptunienne. Parmi les plutonistes proprement dits il y a encore deux écoles, dont l'une regarde la structure feuilletée qui caractérise les schistes cristallins comme provenant de la lamination d'une masse ignée soumise à une forte pression pendant son epanchement à travers la croûte terrestre déjà solidifiée. Pour cette école, en effet, les schistes cristallins, aussi bien que les granits, les trachytes, et les basaltes, sont des roches éruptives. Nous appelons cette manière d'expliquer l'origine des schistes cristallins, soutenue par Poulett Scrope en 1825, et souvent ressuscitée depuis, l'hypothèse *exoplutonique* ou volcanique. Pour l'autre école plutoniste, ces mêmes schistes cristallins sont les produits de la consolidation de la matière ignée du globe au-dessous d'une croûte produite par le refroidissement superficielle; la structure schisteuse étant le résultat, soit des courants établis dans la masse encore liquide et hétérogène, soit d'une ségrégation dans la masse pendant la cristallisation. A la manière de voir de cette seconde école plutoniste nous avons donné le nom d'hypothèse *endoplutonique*.

§ 3. Les neptunistes de leur côté se divisent en plusieurs écoles. Werner et ses disciples croyaient que les roches cristallines, tant granitiques que schisteuses, avaient été déposées successivement d'un océan universel, qu'ils se représentaient sous la forme d'un liquide chaotique tenant en dissolution les éléments de toutes les roches primitives. Nous nommons cette dérivation par une cristallisation lente d'un

chaos primordial l'hypothèse *chaotique*. Dans cette hypothèse purement neptuniste la notion d'un intérieur surchauffé n'entrait pas, mais certains plutonistes qui admettent cette notion ont imaginé une hypothèse *thermochaotique*, avancée par Poulett Scrope en 1825, comme le complément de son hypothèse exoplutonique, et soutenue plus tard par de la Bêche et par Daubrée.

Une autre école neptuniste, qui tenait encore du plutonisme, fut celle de Hutton, qui supposait que les roches cristallines que nous connaissons provenaient de la consolidation et la cristallisation, par l'action de la chaleur interne, de sédiments arrangés par les eaux au fond de la mer; ces sédiments étant le détritus soit des roches endoplutoniques, soit des roches exoplutoniques ou volcaniques. Cette manière de voir, que nous appelons l'hypothèse *métamorphique*, a le défaut de ne pas tenir compte des changements chimiques qu'éprouvent la plupart des espèces silicatées pendant la dégradation des roches cristallines et leur transformation en sables et argiles. La production des espèces telles que les feldspaths, les micas, et les amphiboles, par suite d'une recristallisation des sédiments qui n'en contiennent pas les éléments, reposait sur la supposition de changements survenus soit par simple addition, soit par substitution. De cette manière l'on expliquait les transformations les plus extraordinaires, au nombre desquelles on peut noter non seulement la conversion de sédiments siliceux et argileux en roches feldspathiques et amphiboliques, mais celle des calcaires en gnéiss et autres roches feldspathiques et siliceuses, et la conversion de celles-ci, ainsi que des diabases et des diorites, soit en serpentine soit en calcaire cristallin. Cette manière de voir, que nous avons désignée l'hypothèse *métasomatique*, se confond dans l'esprit de beaucoup de géologues avec l'hypothèse métamorphique de Hutton, dont elle est devenue en quelque sorte le complément indispensable.

§ 4. De toutes ces hypothèses, celle de Werner, qui considérait le chaos primitif comme un liquide tenant en dissolution aqueuse les matériaux nécessaires pour la formation de toutes les roches cristallines, nous paraît celle qui se rapproche le plus de la vérité. Il est vrai que dans l'état actuel de nos connaissances chimiques on ne peut plus admettre l'existence

simultanée de toutes ces matières en dissolution, même à la température élevée que suppose l'hypothèse thermochaotique ; mais nous avons cherché à concilier avec les faits connus, la notion qu'une grande partie des roches primaires, tant granits que schistes cristallins, a passé par l'état de solution aqueuse, et cela comme résultat des procédés qui n'ont pas cessé d'opérer depuis les temps primitifs. Cette manière de voir, que nous avons exposée en détail ailleurs, à la suite d'un examen critique des autres hypothèses déjà mentionnées, nous l'avons nommée l'hypothèse *crénitique.**

Partant de la conception d'un globe liquide, d'origine ignée, dont la solidification aurait commencée au centre, nous trouvons dans sa partie extérieure, solidifiée à son tour, la source primitive de toutes les roches terrestres connues, c'est-à-dire le véritable protoplasme minéral. Cette matière aurait été, suivant nous, dès son refroidissement superficiel, soumise à la fois à l'action de l'eau et des gaz atmosphériques, et en même temps, tout en étant chauffée par la chaleur interne, aurait été pénétrée jusqu'à des profondeurs considérables par des solutions aqueuses. Celles-ci, sous l'influence des différences thermales, auraient établi une circulation entre la surface et les parties plus profondes de la masse protoplasmique déjà rendue poreuse par suite de cristallisation et de refroidissement partiel. Cette circulation aurait donné lieu nécessairement à des sources abondantes thermales, d'où le nom crénitique que nous avons donné à la fois à notre hypothèse et aux aggrégations minérales formées aux dépens de la matière protoplasmique. L'action de ces eaux enlevant de la silice, de l'alumine, et de la potasse, tout en apportant de la chaux, de la magnésie, et de la soude, devait nécessairement modifier peu à peu la composition de cette masse poreuse, chauffée par en bas, pénétrée des solutions aqueuses, et rendue plus ou moins plastique. Dans celle-ci s'opérait en même temps des procédés de cristallisation, suivis de séparations partielles déterminés par des différences de pesanteur spécifique entre les espèces minérales ainsi produits. De là, la production de types divers de roches plutoniques, qu'on peut à juste titre désigner comme primaires, vu qu'elles sont des

* Du grec Κρήνη, fontaine ou source.

portions plus ou moins modifiées de la masse protoplasmique elle-même.

§ 5. L'opération dissolvante des eaux circulantes continuée sans interruption depuis un temps fort reculé dans l'histoire du globe, et s'étendant à des profondeurs représentant un nombre considérable de kilomètres, tout en donnant naissance aux roches crénitiques qui recouvrent la surface de la masse protoplasmique, a dû causer nécessairement une diminution notable dans cette masse, d'où aurait résulté des mouvements donnant lieu aux corrugations plus ou moins marquées qu'on rencontre partout dans les premières couches de l'enveloppe crénitique, mouvements qui ont continué, mais avec une force décroissante, pendant toutes les périodes géologiques. Aussi, le poids accumulé à la fois des dépôts crénitiques et de sédiments mécaniques a fini par provoquer des épanchements à l'état plastique des portions de la masse primitive, ainsi que des parties des couches crénitiques elles-mêmes, sous forme de roches éruptives, donnant non seulement des roches *plutoniques*, mais aussi celles que nous avons appelées roches *pseudoplutoniques*, c'est-à-dire des amas d'origine crénitique qui présentent les caractères géognostiques des roches plutoniques. Telles sont apparemment les trachytes et les granits véritablement éruptifs. Ces épanchements de l'une et l'autre classe paraissent avoir été peu fréquents dans les temps reculés, mais plus tard ils ont dû jouer un rôle important dans le transport des matières minérales des profondeurs à la surface du globe, tandis que l'activité crénitique allait s'affaiblissant. Sans révoquer en doute l'effet de le contraction lente par suite de refroidissement séculaire, du noyau anhydre et surchauffé du globe, nous croyons que la diminution du volume des parties superficielles et hydratées par l'action crénitique, ainsi que par des épanchements plutoniques, a joué un rôle très important dans la dynamique géologique.

§ 6. D'après l'hypothèse qu'on vient d'exposer il s'ensuit que la production des roches crénitiques, aussi bien que celle des roches plutoniques, par suite des transformations d'une matière primitive d'origine ignée, a été subordonnée à des lois régulières, constantes, et définies. Elle représente une évolution minéralogique, qui détermine l'ordre, la composition,

et la succession des amas crénitiques dans la croûte terrestre, ainsi que la composition des amas plutoniques des diverses périodes géologiques. Dans l'étude des groupes successifs des roches de la première classe il faut tenir compte de l'intervention dans le procédé crénitique des produits à la fois solubles et insolubles de la décomposition aérienne, tant des amas crénitiques plus anciens que des amas d'origine plutonique, ainsi que des effets directs ou indirects des produits des êtres organisés. Il résulte de l'influence de toutes ces causes secondaires, qui sont intervenues par la suite dans le procédé crénitique, que le granit fondamental offre des caractères d'uniformité et d'universalité qui ne se retrouvent plus dans les terrains crénitiques moins anciens. Ces derniers commencent déjà à fournir des indications de ce passage à l'ordre nouveau qui leur a valu dans le langage de l'école de Werner le nom de terrains de transition.

Il résulte encore de cette évolution minéralogique dans l'histoire des roches crénitiques que certains silicates aluminifères qui ne se sont produits que rarement à une époque donnée deviennent plus abundants, et par la suite prédominants. Pour cette raison il s'ensuit que dans le règne minéral, comme dans le règne organique, il faut que les généralisations qui ont pour leur objet des classifications chronologiques soient fondées sur les caractères d'un groupe pris dans son entier, et non pas sur les caractères d'espèces exceptionnelles. Du reste, il est à remarquer que les espèces non-aluminifères telles que les silicates à base de protoxides, le quartz, la chaux carbonatée, et les oxides de fer, se retrouvent avec peu de variations dans les amas crénitiques tant indigènes qu'endogènes et plus ou moins anciens.

Il est évident que les opérations de solution et de déposition aqueuse, ainsi que celles de décomposition et de dégradation aérienne s'exerçaient dans les temps primaires et de transition sous des conditions géographiques qui ne différaient pas beaucoup de celles des temps secondaires et tertiaires. Les marques d'érosion, de mouvements contemporains, et de déposition en stratification discordante, se rencontrent à différents horizons dans les terrains indigènes de la période primaire, aussi bien que dans les terrains secondaires, offrant dans l'un et l'autre cas des interruptions

locales et accidentales de l'ordre normal de développement minéralogique.

§ 7. Les filons et filons-couches granitiques, quartzeux et calcaires, y compris les filons métallifères, ainsi que les filons et les géodes de mineraux zéolithiques, nous offrent des exemples d'amas endogènes formés par l'action crénitique. La production de zéolithes et autres silicates par l'action de sources thermales actuelles, et même la formation des espèces zéolithiques dans la vase des mers profondes représentent cette même action continuée jusqu'à nos jours. Comme nous le montrent les études sur l'action des sources thermales, les matières solides environnantes concourrent avec celles en dissolution à la production des espèces nouvelles. Il ne faut pas oublier le rôle que jouent souvent les eaux infiltrantes en produisant des transformations locales dans les sédiments, donnant lieu à la production secondaire des espèces cristallines dans la masse des sédiments secondaires. La pression également paraît avoir amené des résultats semblables dans certains cas, et tous ces résultats ont été cité à l'appui de l'application des hypothèses métamorphique et métasomatique à l'origine des roches primaires.

Les filons granitiques, composés essentiellement d'orthose et de quartz qui se trouvent également au sein des gneiss et des micaschistes, aussi bien qu'au milieu des roches plutoniques et basiques, tant des périodes paléozoïque que mésozoïque,* nous aident à comprendre les conditions qui ont donné lieu dans les temps d'une plus grande activité crénitique aux gneiss et au granit fondamental, qui d'après notre hypothèse sont tous essentiellement neptuniens ou crénitiques dans leur origine. Ces mêmes roches créni-

* Nous avons décrit ailleurs les filons pegmatitiques enclavés dans les diabases qui traversent les calcaires ordoviciens de Montréal, dans le Canada. Ces filons, ayant quelquefois une épaisseur de trois decim., sont à gros éléments, et outre le quartz et l'orthose contiennent accidentellement de la sodalite, de la nephéline, de la cancrinite, de l'amphibole, de l'acmite, de la biotite et du fer oxidulé. Des filons essentiellement composés de l'orthose rose et du quartz, et souvent accompagné d'espèces zéolithiques, se trouvent dans des conditions semblables au milieu des diabases contemporains des grès mésozoïques de Hoboken, près New York. Dans l'un et l'autre cas l'origine endogène et crénitique de ces filons pegmatitiques n'est susceptible d'aucun doute. Voir le *Mineral Physiology and Physiography* de l'auteur (Boston, Mass., 1886), pp. 121, 137.

tiques indigènes et endogènes ont également fourni la plus grande partie des matériaux pour les roches secondaires. Nous avons déjà indiqué en peu de mots, dans le § 4, notre manière d'envisager l'origine des roches plutoniques par suite des modifications opérées au sein de la masse protoplasmique.

§ 8. Il faut ne pas perdre de vue le rôle important que joue l'eau dans les phénomènes plutoniques et volcaniques, non plus que le fait qu'elle peut exister sous de fortes pressions aux températures élevées à l'état de combinaison avec les roches silicates. Il en résulte des composés hydratés qui sont plus fusibles que les roches anhydres, et qui se décomposent dans les transformations qui se produisent pendant le refroidissement avec diminution de pression, qui accompagne l'épanchement de ces matières. L'eau ainsi mise en liberté peut se dégager à l'état de vapeur, en même temps que certaines autres matières volatiles qu'on rencontre dans les émanations volcaniqnes. Autrement, sous une pression encore forte, et à une température au-dessus de la température critique de vaporisation, l'eau peut se séparer à l'état de vapeur dense, polymérique, retenant en dissolution, d'après les recherches récentes, des matières minérales qui, par suite de refroidissement, finiront par se déposer de cette vapeur même, ou bien du liquide résultant de sa condensation, sous forme d'espèces cristallines. Les vapeurs aqueuses surchauffées jouent ainsi un rôle qui se rattache de très près à celui des eaux thermales, et qui doit être regardé comme formant partie du procédé crénitique.

La plupart des questions qu'on vient de mentionner sont déjà discutées en détail dans notre volume intitulé *Mineral Physiology and Physiography* (1886), surtout dans les trois chapitres où l'on considère l'origine, l'histoire génétique et la décomposition des roches cristallines (*loco cit.* pp. 68-277.)

II.

§ 9. Dans un autre chapitre du même volume l'auteur traite de l'histoire des terrains précambriens (pp. 402-425) et cherche à résumer en quelques pages les résultats de ses tentatives pendant quarante ans pour arriver à la subdivision

et la nomenclature de ces terrains, qui comprennent à la fois le système primaire et le système de transition de Werner. Il suffira pour le présent d'indiquer d'une manière succincte les conclusions auxquelles il en est arrivé.

1°. *Laurentien.*—Sous ce nom, proposé et adopté par l'auteur en 1854, est compris l'ancien terrain gneissique, rencontré surtout dans les monts Laurentides et Adirondacks, ainsi que dans la grande chaîne atlantique et dans les Montagnes Rocheuses du centre de l'Amérique du nord. A cette même série l'auteur a également rattaché les gneiss semblables de la Grande-Bretagne et de la Scandinave, ainsi que le gneiss ancien ou central des Alpes. Dès nos premières études dans le Canada en 1847 nous avions signalé l'existence dans ce terrain gneissique de deux subdivisions, dont l'une inférieure, de gneiss granitoïde qui se confonde avec le granit-fondamental, à laquelle succède, en stratification discordante, une série de gneiss également granitoïdes, fréquemment amphiboliques, intercalés de quartzites et de calcaires cristallins, avec serpentine. Ces deux subdivisions, que l'on peut nommer provisoirement laurentien inférieur et laurentien supérieur, ont été appelées respectivement le gneiss de l'Outaouais et la série de Grenville. Pour éviter toute erreur il convient de noter que le titre de laurentien supérieur (Upper Laurentian) fut donné pas Logan pendant un temps au terrain désigné plus tard labradorien et norien. C'est donc par un malentendu que quelques-uns ont voulu retenir comme désignation de la division supérieure du terrain laurentien le terme laurentien intermédiaire (Middle Laurentian).

2°. *Norien.*—Le terrain ainsi désigné par l'auteur en 1870 se compose en grande partie de ces roches stratiformes à base de feldspaths anorthiques auxquelles on a donné le nom de norite. Ce terrain renferme cependant des couches intercalées de gneiss, de quartzite et de calcaire cristallin, toutes étant assez semblables à celles du terrain laurentien supérieur. Il ne faut pas confondre ces norites, qu'on a quelquefois désignées sous le nom de gabbro, avec les gabbros très distincts du terrain huronien, ni avec certaines roches plutoniques, ayant avec elles des ressemblances minéralogiques. Le facies des norites sert à les distinguer.

3°. *Arvonien.*—Ce terrain se compose en grande partie de

roches pétrosiliceuses qui passent à l'état de porphyre quartzifère, avec lesquelles sont intercalées cependant certaines roches amphiboliques, ainsi que des schistes séricitiques, des quartzites, des oxides de fer, et plus rarement du calcaire cristallin. Ce terrain, indiqué pour la première fois par M. Henry Hicks en 1878, dans le pays de Galles, est regardé par M. Charles Hitchcock comme formant dans l'Amérique du nord la partie inférieure du terrain huronien.

4°. *Huronien.*—Ce nom fut donné par l'auteur en 1855 à un terrain déjà reconnu dans l'Amérique du nord, où il repose en stratification discordante soit sur les gnéiss laurentiens soit sur les pétrosilex arvoniens. Il comprend outre des schistes quartzeux, épidotiques, chloritiques et calcaires, des amas de serpentine et de lherzolite, ainsi que des euphotides, qui représentent dans ce terrain les norites du terrain norien, avec lesquelles on les confonde quelquefois sous le nom commun de gabbro. Ce terrain prédomine dans les Alpes, où il forme la série des pierres vertes (*pietre verdi*).

5°. *Montalban.*—Les études de de Hauer, publiées en 1868, sur les Alpes orientales, et celles de Gerlach sur les Alpes occidentales, publiées l'année suivante, s'accordent à reconnaître dans ces régions deux terrains gneissiques, savoir, un gneiss ancien ou central, et un gneiss jeune ou récent; ce dernier, qui est très distinct de l'ancien gneiss au point de vue pétrographique, étant accompagné de schistes micacés et amphiboliques. Les études de Gastaldi, publiées en 1871, et celles de Neri, en 1874, tout en confirmant les résultats de de Hauer et de Gerlach, nous ont fourni plus de détails sur ces terrains et leurs caractères lithologiques. Il convient de remarquer ici que tous ces observateurs paraissent être d'accord à placer l'horizon des pierres vertes (huronien) entre le gneiss ancien (laurentien) et le gneiss jeune.

Avant qu'il eut eu connaissance des premières observations de ces savants, l'auteur, d'après ses propres études dans l'Amérique du nord, fut conduit à des conclusions identiques, et en 1870 il annonçait l'existence d'une série de gneiss jeunes, fort distincts des gneiss anciens, et accompagnés de calcaires cristallins et de schistes micacés et amphiboliques. A ce terrain, à cause de son grand développement dans les Montagnes Blanches de New Hampshire, fut donné par nous

dès 1871 le nom de montalban. Cette série, d'ailleurs, paraît identique avec le gneiss jeune des Alpes, des gneiss et micaschistes dits hercyniens en Bavière, les granulites avec roches à dichroite, micaschistes et lherzolite de l'Erzebirge en Saxe, et de roches semblables dans les montagnes de l'Écosse. Ce terrain montalban dans l'Amérique du nord renferme non seulement des calcaires cristallins, mais des couches de lherzolite et de serpentine, tout comme l'huronien et le laurentien. C'est également dans cette série que se retrouve la plupart des amas filoniens ou endogènes de pegmatite, renfermant souvent de l'émeraude, de la tourmaline, et des minérais d'étain, d'urane, de tantale et de niobium.

Gastaldi, dans un mémoire publié en 1874, déclare "que les pierres vertes proprement dites" se trouvent entre "l'ancien gneiss porphyroïde et fondamental" et "le gneiss récent à grains plus fins et plus quartzeux que l'autre," qu'il désigne également comme micaschiste gneissique, ou bien comme gneiss très micacé passant au micaschiste et souvent amphibolique; les deux séries gneissiques étant d'après lui faciles à distinguer. A ces deux divisions supérieures au gneiss ancien Gastaldi ajoutait une troisième division, encore plus récente. Cette division contient des épaisseurs considérables de couches désignées par lui sous les titres de schistes argileux, ou bien schistes lustrés, talqueux, micacés et séricitiques. Associés à ces schistes se trouvent également des quartzites, des marbres statuaires et cipolins, avec dolomie, karstenite, et quelquefois des roches amphiboliques et des serpentines, dont la présence dans cette division, et même dans les gneiss récents, aussi bien que dans les pierres vertes proprement dites, lui paraissait justifier le nom de "zone des pierres vertes," souvent donné par Gastaldi à tout ce groupe triple de schistes cristallins qu'il reconnaissait comme étant moins anciens que le gneiss central.*

6°. *Taconien.*—Cette troisième division, à laquelle Gastaldi ne donnait pas de nom distinctif, a, comme on sait, une

* Cette question est discutée en détail par l'auteur (*Mineral Physiology and Physiography*, pp. 457-496), dans une étude sur la géologie des Alpes et des Apennines, et sur les serpentines de l'Italie. Voir aussi son article intitulé "Gastaldi and Italian Geology," où se trouve une lettre inédite de Gastaldi, dans le *Geological Magazine* pour décembre, 1887.

histoire fort intéressante dans la géologie italienne. Un terrain ayant à la fois le même horizon et les mêmes caractères minéralogiques se trouve très développé dans l'Amérique du nord, où il comprend des quartzites, souvent schisteuses et quelquefois flexibles et élastiques, et des calcaires cristallins, donnant des marbres statuaires et cipolins. Il s'y trouve également des dépôts de fer oxidulé et de fer oligiste, ainsi que des gisements importants de limonite, cette dernière étant épigénique soit de la pyrite, soit du fer carbonaté, deux espèces qui forment par elles-mêmes des amas considérables. Ce terrain contient en outre des ardoises tégulaires, ainsi que de schistes lustrés onctueux, ordinairement avec damourite, sericite ou pyrophyllite, mais renfermant quelquefois de la chlorite, de la stéatite et des roches amphiboliques avec serpentine et ophicalcite. L'on trouve également parmi ces schistes, qui se rencontrent à divers horizons dans ce terrain, des couches visiblement feldspathiques, avec d'autres de nature mal définie qui se transforment en kaolin par décomposition aérienne. Ces mêmes schistes fournissent également des cristaux remarquables de rutile, ainsi que des tourmalines, de la disthène, de la staurolithe, du grénat et de la pyroxène. Ce terrain, qui paraît, d'alleurs, diamantifère, fut décrit en 1859 par Oscar Lieber, sous le nom du *groupe itacolumitique.* Eaton, déjà en 1832, avait placé les quartzites et les calcaires, qui forment les membres inférieurs du groupe, dans le terrain primitif, tandis que les argilites, se trouvant vers le sommet du même groupe, étaient regardés comme constituant la division inférieure du terrain de transition, recouvert selon lui en stratification discordante par le graywacké fossilifère (premier graywacké) qui formait la division supérieure du même terrain de transition. Emmons, de son côte, en 1842, a compris dans ce qu'il nommait *système taconique*, toute cette série cristalline, ainsi que le graywacké; mais en 1844, séparait ce dernier, dans lequel il avait reconnu l'existence d'une faune trilobitique, en lui donnant le nom de taconique supérieur. De longues études m'ont démontré que cette division supérieure est entièrement indépendante du taconique inférieur, avec lequel ce graywacké fossilifère ne se trouve en contact que dans des régions relativement restreintes, tandis que dans d'autres localités il repose directe-

ment sur des terrains cristallins plus anciens. Voyant de plus que le taconique inférieur se rencontre seul dans un grand nombre de localités depuis le golfe du Saint-Laurent jusqu'à l'Alabama vers le sud, et jusqu'au lac Supérieur vers l'ouest, et reconnaissant également le fait que le taconique supérieur forme réellement partie du terrain cambrien (comme, d'ailleurs, Emmons l'a reconnu en 1860) l'auteur proposait déjà en 1878 de restreindre l'emploi du terme taconique à cette série cristalline et infra-cambrienne qui forme le taconique inférieur d'Emmons et le groupe itacolumitique de Lieber, et de lui donner le nom de terrain taconien.

L'histoire des tentatives faites par les partisans de l'école métamorphique pour établir l'origine plus récente du terrain taconien est assez curieuse. Se basant pour la plupart sur des arguments stratigraphiques, divers géologiques américains l'ont successivement rapporté aux horizons cambrien, ordovicien, silurien, carbonifère, et même triassique. Il est vrai que ces mêmes géologues ont soutenu l'âge paléozoïque de la plupart des autres terrains cristallins de l'Amérique du nord, y compris le montalban, l'huronien et l'arvonien, ainsi qu'une partie du terrain laurentien même. L'absence de toute notion du principe du développement minéralogique dans l'histoire des schistes cristallins a concouru avec les difficultés provenant des accidents stratigraphiques qui se rencontrent le long du bord oriental du grand bassin paléozoïque de l'Amérique du nord, à confirmer la croyance de beaucoup de géologues américains dans les hypothèses des écoles métamorphique et métasomatique.*

§ 10. Les ressemblances minéralogiques qui existent entre les divers terrains crystallins mentionnés ci-dessus sont faciles à reconnaître. Le type de roches à base d'orthose qui paraît dans le granit fondamental et les gneiss laurentiens se retrouve encore dans les porphyres quartzifères de l'arvonien, et les gneiss du montalban, et moins distinctement dans les roches feldspathiques du taconien. Les micas non-magné-

* Le lecteur qui veut poursuivre cette question la trouvera discutée en quelque détail dans le volume déjà cité: *Mineral Physiology and Physiography*, pp. 517–686, sous le titre : The Taconic Question in Geology. Elle est encore poursuivie avec de nouvelles données dans *The American Naturalist* pour février, mars et avril, 1887, dans un article intitulé " The Taconic Question Restated."

siens, rares dans le granit fondamental et les gneiss laurentiens, se trouvent représentés abondamment dans les gneiss et les micaschistes du montalban, aussi bien que dans les schistes lustrés qui se rencontrent dans les terrains huronien et taconien et même prédominent dans ce dernier. Il est encore à remarquer que les simples silicates d'alumine, tels que l'andalousite, la disthène, la fibrolite et la pyrophyllite, qui semblent étrangers aux terrains plus anciens, abondent dans le montalban et reparaissent encore dans le taconien. En même temps, les calcaires cristallins, les oxides de fer, et les silicates calcaires et magnésiens, se trouvent représentés dans chaque terrain à partir du granit fondamental. Les différences chimiques et minéralogiques entre ces divers terrains sont plus fortes que les ressemblances, ce qui n'a pas empêché certains observateurs de confondre le gneiss récent avec le gneiss ancien. Aussi les ressemblances entre les terrains huronien et taconien ont conduit feu le professeur Kerr, dans la Caroline du nord, a rapporter ce dernier terrain au terrain huronien. Encore dans les environs des lacs Supérieur et Huron, où se trouvent à la fois les terrains laurentien, norien, arvonien, huronien, montalban, et taconien, les affleurements de ce dernier ont été confondus avec ceux du terrain huronien par Murray et par d'autres observateurs. En 1873, cependant, l'auteur, distinguant entre les deux, donnait au terrain taconien dans cette région le nom provisoire de série d'Animikie. Ce n'est que plus tard qu'il a reconnu le fait que cette série, qui repose dans certaines localités en stratification discordante sur le terrain huronien, n'est autre chose que le taconien. Emmons, au contraire, qui connaissait l'existence dans cette région de ce qu'il appelait le taconique inférieur, croyait que le terrain auquel j'avais donné en 1855 le nom d'huronien était identique avec ce même taconique inférieur ou taconien. Les différences entre les deux terrains dans le bassin du lac Supérieur, indiquées d'abord par Logan et plus tard par l'auteur, ressortent très clairement des études récentes de Rominger. Sur les divers terrains cristallins, y compris le taconien, repose en stratification discordante, dans cette région, une enorme série de grès et conglomérats, avec roches plutoniques contemporaines, le tout remarquable par son contenu de cuivre métallique. Cette

série, qui avait été confondu alternativement avec les terrains huronien et taconien d'un côté, et avec les grès trilobitiques du cambrien de l'autre, fut pour la première fois séparée par l'auteur en 1873 sous le nom de groupe de Keweenaw, terme converti par lui en 1876 en celui du terrain keweenien. Il reste encore à déterminer si cette série, sur laquelle repose en stratification discordante ces mêmes grès trilobitiques, doit former partie du terrain cambrien, ou bien si elle doit constituer un terrain distinct entre le taconien et le cambrien.

§ 11. En soumettant à ses collègues du congrès géologique international un résumé de ses conclusions, reposant sur plus de quarante ans d'études, l'auteur croit devoir observer que ces idées tant sur l'origine, l'histoire chimique et minéralogique, la subdivision et la nomenclature, sont pour la plupart les genéralisations d'un seul observateur. Il les offre comme une première tentative pour arriver à la classification des roches indigènes, et en même temps comme une exposition de son hypothèse crénitique de l'évolution minéralogique du globe, qui aurait déterminé la succession et la nature chimique des amas qu'il nomme crénitiques aussi bien que celles des amas plutoniques. Il comprend parfaitement que son travail est loin d'être complet et qu'à d'autres incombe la tâche de le corriger et de l'achever.

Comme une grande partie des résultats pour ce qui regarde la classification géognostique a paru pour la première fois dans les rapports de la commission géologique du Canada, l'auteur se permet de dire en terminant, que les premières publications faites par cette commission sur les roches cristallines du Canada, c'est-à-dire les rapports de progrès pour les années 1845 et 1846, furent préparés par lui et publiés en 1847, d'après les notes et les collections faites par MM. Logan and Murray dans les deux années précédentes. En outre, toutes les publications ayant trait à la minéralogie, la lithologie ou la composition chimique des roches du Canada qui se trouvent dans les rapports officiels depuis 1847 jusqu'à 1872, époque à laquelle l'auteur a donné sa démission comme membre de la commission géologique du Canada, furent écrites par lui ou sous sa direction personnelle.

ZUR KLASSIFICATION DER KRYSTALLINISCHEN SCHIEFER.

Von

Prof. Dr. Albert Heim.

Wir müssen eingestehen, dass das gewaltigste Glied der Erdrinde, die krystallinischen Schiefer, nach ihren Erscheinungen und nach ihrer Entstehung noch am dunkelsten geblieben sind. Es stehen hier ganz besondere Schwierigkeiten im Wege. Sehr oft haben wir es mit Gesteinen zu thun, welche nachträglich verändert sind, ohne dass sich ihre ursprüngliche Beschaffenheit feststellen liesse, und ohne dass man den Prozess der Umwandlung genau angeben könnte. Wir haben es dann gewissermassen mit einer einzigen Gleichung von zwei Unbekannten zu thun — wir können sie nicht lösen.

Wir begegnen gegenwärtig einer Menge von Versuchen, die krystallinischen Schiefer vorwiegend nach petrographischen Merkmalen in stratigraphische Abtheilungen zu zerlegen. Ich halte diese Versuche schon deshalb für etwas verfrüht, weil leider die Mikroskopiker mit der genaueren Untersuchung der krystallinischen Schiefer und der älteren halb klastischen, halb krystallinischen Sedimente noch weit im Rückstande sind. Der Zweck dieser Zeilen besteht darin, noch auf eine andere, bisher noch nicht genügend gewürdigte Schwierigkeit hinzuweisen, welche jedem derartigen Versuche im Wege steht—es ist dies die *mechanische Gesteinsumformung bei der Gebirgsbildung.*

Dass bei der Faltung der Alpen vielfach die Gesteine in ihrer Beschaffenheit gänzlich verändert worden sind, lässt sich am directesten bei den sedimentären Gesteinen nachweisen, weil dieselben auch im unveränderten Zustande an benachbarten Stellen studirt werden können. Die gewöhnlichsten hier im Zusammenhang mit dem Faltenbau auftretenden Umformungen sind:

— Deformation von Petrefakten, Geröllen oder Kry-

stallen. (Compression in einer Richtung, Verstreckung in einer anderen.)

— Transversalschieferung (Clivage).

— Transversalschieferung mit Linearstreckung.

— Fältelung.

— Innere Breccienbildung mit Verkittung durch Secretionen.

— Innere massenhafte Rutschflächenbildung, so dass die ganze Structur dadurch verändert wird.

— Schuppenstructur, hervorgegangen aus Quetschung von oolithischer Structur.

— Umwandlung von Hämatit und Limonit in Magnetit, in Verbindung mit Transversalschieferung.

— Marmorisirung der Kalksteine.

— Ausbildung verworrener Knetstructuren, etc.

— Ausbildung neuer Mineralien (Granat, Staurolith, Glimmer) an gequetschten Stellen.

Nun finden wir aber in der angegebenen Weise umgeformte Sedimentgesteine recht oft als ganz schmale Muldenzonen parallel eingeklemmt zwischen Gesteinen der krystallinischen Schiefer. Die alpinen Zonen welche vorherrschend aus krystallinischen Schiefern bestehen, nennt man Centralmassive. Ein solches Ineinandergreifen von mechanisch metamorphosirten Sedimenten mit den krystallinischen Schiefern ist in den Alpen besonders häufig an den Streich-Enden der Centralmassive und zwischen den Centralmassiven, nicht selten sogar im Inneren der Centralmassive zu beobachten. Dabei zeigen krystallinische Schiefer und umgeformte Sedimente nicht nur gleiche Lage, sondern auch zum Theil im Uebrigen ähnliche Merkmale. Die Transversalschieferung der Sedimente kann in gleicher Richtung in die krystallinischen Schiefer übersetzen und harmonische Fältelungen können beide durchsetzen; da wie dort kann eine ausgeprägte Linearstreckung in gleicher oder wenig abweichender Richtung vorhanden sein; kalkige Partieen in den krystallinischen Schiefern sind in gleicher Weise krystallinisch körnig mit eingelagerten gestreckten Glimmerblättchen, wie die nahen muldenförmig eingeklemmten jurassischen Kalksteine, etc., etc.

Hieraus geht hervor, dass wir es in diesen krystallinischen

Schiefern auch nicht mit Gesteinen ursprünglicher Beschaffenheit zu thun haben, sondern dass ähnliche mechanische Gesteinsumformungen wie die Sedimente, so auch die krystallinischen Schiefer ergriffen haben. Die Schwierigkeit besteht für letztere nur darin, dass wir fast niemals im Stande sind, anzugeben, wie denn das Gestein ursprünglich vor der mechanischen Gesteinsumformung ausgesehen hat.

Nun sind die Falten der Erdrinde gerade in den krystallinischen Schiefern am gewaltigsten ausgebildet. Die Isoklinalfalten und Fächerfalten, die keilförmigen Contactverknetungen am Rande der Sedimente, kurz alle diese hochgradigen Dislocationsformen, welche am ehesten in die innere Structur der Gesteine verändernd eingreifen, finden sich in den krystallinischen Zonen der Alpen, und zwar am stärksten in den nördlichen Reihen der Centralmassive (Mont Blanc, Aiquille range, Finsteraarmassiv, Gotthardmassiv, Silvrettamassiv, etc.) ausgebildet.

Auf den ersten Blick schien es, als seien die krystallinischen Schiefer und die ächten Sedimente in den Alpen durch eine constante Discordanzfläche getrennt; allein oft sind selbst junge Sedimente parallel in die krystallinischen Schiefer eingefaltet. Häufig stellen sich auch die Sedimente centralmassivisch, ja es scheint, dass ein grosser Theil mancher Centralmassive aus paläozoischen Sedimenten besteht; andererseits sehen wir in den südlicheren Centralmassiven der central Alpen die krystallinischen Schiefer durchaus wie die Sedimente gelagert.

Wer in diesen Regionen der Alpen gearbeitet hat, der wird auch bemerkt haben, wie oft hier die mechanische Quetschung der Gesteine die petrographischen und stratigraphischen Grenzen verwischt, und wie viele Gesteine in ihrer Ausbildungsweise dadurch undeutlich verrworren geworden sind. Manchmal sind solche Umwandlungen als die Folge von lokaler Quetschung direct nachweisbar manchmal aber treten sie regional auf, und Uebergänge in das unveränderte Gestein sind schwierig zu verfolgen. Alle Grade der Umwandlung durch die Gebirgsstauung sind zu finden, von einer geringen Aenderung der Structur bis zur vollständigen Metamorphose. An hunderten von Stellen weiss man nicht, ob man einen Rest ursprünglicher Schich-

tung oder Schieferung vor sich sieht, oder ob man es mit einer durch die Gebirgsstauung entstandenen Transversalschieferung (Quetschungsschieferung, Clivage) zu thun hat, welche die ursprünglichen Structurerscheinungen gänzlich verwischt hat. Manche bei der Gebirgsbildung neu entstandene Schieferung ist von einer ursprünglichen nicht zu unterscheiden. Nicht selten kommen sich kreuzende Schieferungen vor. Ob dann die deutlichere oder die undeutlichere die ursprüngliche ist, kann manchmal nicht entschieden werden. Selbst bei genauer mikroskopischer Prüfung ist oft genug eine aus Quetschung und seitlichem Ausweichen hervorgegangene Structur nicht von den Fluidalstructuren eines Eruptivgesteines zu unterscheiden. Dass eine Structurveränderung durch die Gebirgsstauung stattgefunden hat, ist überall da sicher, wo die so häufigen Linearstreckungen erscheinen. Dieselben sind niemals ursprünglich. In solchen lineargestreckten krystallinischen Schiefern finden sich dann oft gestreckte, zerrissene Glimmerblättchen. Die Linearstreckung kann bis zur stengligen Absonderung sich ausbilden.

Gibt es in den Centralmassiven der Alpen überhaupt noch Gesteine, welche nicht eine Structurveränderung bei der Gebirgsbildung erfahren haben?

Die Umwandlung kann aber noch tiefer greifen:

Mächtige Zonen, z. B., im Inneren des Finsteraarmassives, welche man früher für ächte krystallinische Schiefer gehalten hat, erweisen sich als ursprünglich klastische Gesteine der Carbonzeit, die schiefrig gequetscht und von Glimmerneubildungen durchsezt sind. Ursprünglich conglomeratische Verrucanogesteine und Thonschiefer sind, eingeklemmt im Centralmassiv, krystallinisch schiefrig und gneissähnlich geworden. Von denselben kann man andererseits gequetschte, von Sericit durchzogene Gneisse im Handstück und im Auftreten fast nicht unterscheiden. Granite sind lokal nachweisbar — vielleicht auch regional — zu Gneissen zusammengedrückt. Gneisse sind bei anderer Lage zum Druck lokal zu verworrenen Graniten geworden. Massige eruptive Felsitporphyre sind Felsitschiefer geworden. Glimmerschiefer sind ausgewalzt, ihre Quarzkörner zerbrochen und das Ganze dadurch um-

gewandelt in ein Gestein, das man am ehesten als einen sandigen Thonschiefer bezeichnen könnte. Aber auch liasische Schiefer mit Petrefacten sind in Granatglimmerschiefer, Staurolithschiefer oder dergleichen umgewandelt. Die Grenze zwischen den eigentlichen alten krystallinischen Schiefern und den ächten Sedimenten ist in den Alpen durch solche Vorgänge der Dynamometamorphose verwischt und der eigentliche Charakter des Gesteines verändert bis zur Unkenntlichkeit. Wenn wir bei ächten Sedimenten Hand in Hand mit der mechanischen Umformung neue Mineralien sich ausscheiden sehen (Magnetit im gequetschten Eisenoolith der Windgälle, Granat in den Belemnitenschiefern des Scopi), so entsteht daraus auch für die krystallinischen Schiefer der anliegenden Regionen die Frage, welche ihrer Mineralien ursprünglich, und welche vielleicht erst bei Gelegenheit der Gebirgsstauung sich ausgeschieden haben.

Wir gelangen zu dem Resultate: *Die Beschaffenheit der krystallinischen Schiefer in den Alpen ist vielfach durch den Gebirgsstauungsprozess* (Dynamometamorphose) *verändert worden. Ursprüngliches und mechanisch später Gewordenes sind sehr oft noch gar nicht von einander zu unterscheiden.*

Ausserdem weisen die Alpen noch andere besondere Schwierigkeiten dem Erkennen einer stratigraphischen Gliederung der krystallinischen Schiefer entgegen. Sehr häufig sind die Lagerungsverhältnisse so verwickelt, dass oft schon der Entscheid darüber sehr schwierig wird, was ursprünglich unten und was oben gelegen hat, und ob die enorme Mächtigkeit, z. B., von manchen Gneisscomplexen eine wirkliche oder bloss durch Wiederholungen in Falten zu Stande gekommene sei. Die Umbiegungen sind durch Clivage verdeckt.

Es folgt hieraus, dass wenn auf Grundlage petrographischer Verhältnisse eine allgemeine Stratigraphie der krystallinischen Schiefer versucht werden soll, *dies niemals nach Beobachtungen dieser Gesteine in gefalteten Regionen der Erdrinde geschehen darf, sondern dass zu diesem Zwecke Gebiete in den Vordergrund gestellt werden müssen, in welchen niemals Lagerungsstörungen von alpinem Charakter eingetreten sind.* Bei der Frage nach der Stratigraphie der ächten krystallinischen Schiefer ist der Alpengeologe nicht in der Lage, wesentliches Material beschaffen zu können, vielmehr muss er die

Resultate der Fachgenossen aus anderen Regionen abwarten, um sie in seinem Gebiete nachher verwenden zu können. Die Dislocationen der Bruchregionen haben die Gesteinsbeschaffenheit grösstentheils unverändert gelassen; dort können die krystallinischen Schiefer in ihrer unverändert ächten Beschaffenheit studirt werden. Dort sind sie auch flacher und regelmässiger gelagert, und es ist eher eine stratigraphische Reihe zu finden als in den Alpen.

SUR LA CONSTITUTION ET LA STRUCTURE DES MASSIFS DE SCHISTES CRISTALLINS DES ALPES OCCIDENTALES.

Par

M. LE PROFESSEUR CH. LORY.

Dans toutes les régions du globe, les formations sédimentaires les plus anciennes reposent sur un ensemble de roches cristallines schisteuses ou *stratiformes*, ne contenant ni traces de fossiles, ni cailloux roulés, ou autres débris de roches plus anciennes, remaniés par les eaux. Cet ensemble de *schistes cristallins* constitue ce que les anciens géologues ont appelé le *terrain primitif*, dénomination qui nous paraît devoir être conservée, si elle correspond à des caractères constants et universels, impliquant des conditions originelles différentes de celles qui ont présidé aux formations purement sédimentaires.

Pour étudier les caractères des *schistes cristallins*, il faut rechercher, de préférence, des régions où ils aient été peu bouleversés, surtout dans les périodes géologiques les plus anciennes ; où ils n'aient été que peu ou point traversés par des épanchements de roches massives et par des filons éruptifs ; où leur stratification et leurs rapports avec les terrains de sédiments soient mis à découvert par des sections naturelles profondes et continues. La région des Alpes occidentales réalise éminemment ces diverses conditions, et il m'a semblé qu'un résumé de quelques-uns des faits qu'on peut y étudier facilement ne serait pas sans intérêt au point de vue de la question générale des *schistes cristallins.*

On sait que les schistes cristallins apparaissent, dans les Alpes, en massifs plus ou moins étendus, entourés par les formations sédimentaires, à travers lesquelles ils percent par de larges ruptures. Ces massifs sont répartis principalement dans deux zones, arquées dans le sens de la courbure générale

des Alpes, que j'ai proposé d'appeler, dans les Alpes occidentales, *première zone alpine*, ou *zone du Mont-Blanc*, et *quatrième zone alpine*, ou *zone du Mont-Rose.** De l'une à l'autre de ces deux zones, la structure des massifs de schistes cristallins est très différente. Quant aux zones intermédiaires, d'étendue bien plus restreinte, que j'ai désignées, dans la même région, sous les noms de *deuxième* et *troisième zones alpines*, les affleurements de schistes cristallins y sont rares et peu étendus; au point de vue des questions que nous allons étudier, elles présentent les mêmes caractères que la *quatrième zone*, et nous les examinerons en même temps que celle-ci.

I.

Notre *quatrième zone alpine*, ou *Zone du Mont-Rose*, est de beaucoup la plus large: les schistes cristallins y sont à découvert sur la plus grande partie du versant italien et bordent immédiatement la plaine, depuis Cuneo jusqu'au Lac Majeur. Leur stratification est souvent presque horizontale et toujours concordante avec celle des formations sédimentaires qui s'appuient sur eux: les *quartzites*, *dolomies* et *schistes gris lustrés*, avec amas de *gypse*, qui représentent le *trias*, et les calcaires du Mont-Genèvre et du Briançonnais, qui appartiennent au système *jurassique*.

Ce n'est donc que postérieurement au dépôt de ces terrains secondaires, et même, très probablement, ce n'est que bien plus tard, dans le cours des temps *tertiaires*, que cette partie des Alpes a été façonnée en montagnes, par les poussées latérales qui résultaient de l'enfoncement progressif des vastes régions représentées actuellement par les plaines italiennes et le bassin de l'Adriatique. Le résultat de ces grandes actions dynamiques fut un ensemble de chaînes de ploiement, de grands plis crevés suivant leurs axes, dont la structure rappelle, abstraction faite de la nature des roches, et avec des dimensions cinq à six fois plus grandes, le type classique si connu des chaînes du Jura bernois, souvent compliqué par des failles, comme dans le Jura français.

D'après cette structure simple et régulière des massifs de

* *Bulletin de la Société Géologique de France*, 2e série, t. xxiii., p. 482–497.

la *zone du Mont-Rose*, la succession des divers groupes de schistes cristallins y est aussi nette et aussi facile à déterminer que celle des étages jurassiques dans les chaînes du Jura. Cette succession est conforme à l'ordre indiqué depuis longtemps par Cordier, qui l'avait étudiée particulièrement sur les grandes voies internationales conduisant de France ou de Suisse en Italie. Il convient, toutefois, de remarquer que son groupe supérieur, celui des *talcites* (ou *talcschistes*) ne renferme qu'accessoirement du *talc* proprement dit et que l'aspect onctueux, *talcoïde*, de ces schistes est dû, en réalité, à d'autres minéraux, à des variétés de *micas* peu distinctement clivables et tendant à la texture fibreuse, particulièrement la *séricite* Ces schistes doivent donc être désignés, comme ils le sont généralement aujourd'hui, sous le nom de *schistes à séricite*, ou par abréviation, *sérischistes*. Dans leurs variétés les plus pures, ils sont d'un blanc nacré ou d'un gris clair; mais, par mélange de *chlorite*, ils prennent généralement des teintes verdâtres et passent à des schistes chloriteux et quartzeux, les *chloritoschistes*, extrêmement développés dans toutes les Alpes occidentales. Avec ceux-ci alternent très généralement les *schistes amphiboliques*, dont le développement est tres-variable et devient prédominant dans certaine parties des Alpes Italiennes, surtout entre Ivrea et Domo d'Ossola.

L'ensemble de cette division supérieure des schistes cristallins est caractérisé par la teinte verte plus ou moins prononcée que leur donnent la *chlorite* ou *l'amphibole;* c'est ce que rappelle le nom de *pierres vertes* (*pietre verdi*) sous lequel ils ont été désignés par Gastaldi et plusieurs autres géologues italiens, mais en comprenant sous ce nom d'autres schistes, que je ne saurais considérer comme *primitifs* et que j'ai, depuis 1860, rapportés au *trias*.

En dessous des schistes chloriteux ou amphiboliques se développe le grand étage des *micaschistes*, dans lequel sont intercalés, en couches concordantes, des *calcaires cipolins*, des *dolomies grenues*, des *calcaires saccharoïdes* purs, alternant, à divers niveaux, avec les *micaschistes* et faisant, bien évidemment, partie de la même formation.

Les *micaschistes* se chargent de feldspath et passent à des *gneiss*, avec lesquels ils alternent. Le mica noir (*biotite*) y est

souvent accompagné de mica blanc (*muscovite*), sans que la présence de celui-ci se rattache à l'influence de roches éruptives. A mesure qu'on descend la série, le feldspath orthose devient plus abondant, et les gneiss prédominent, avec une texture de moins en moins feuilletée, passant au *gneiss granitoïde*, où le feuilletage disparaît, mais la stratification reste visible en grand. C'est ce que montre bien la belle coupe géologique du massif du Simplon, où les gorges de la Diveria sont creusées, sur une hauteur de 700 mètres, dans les assises horizontales du gneiss granitoïde dit *gneiss d'Antigorio.* Mais, comme l'indique la carte de Gerlach (*Mém. de la Soc. Helvét.*, t. xxiii, 1869), ces gneiss, d'apparence si massive, s'appuient eux-mêmes sur une assise inférieure de *micaschistes*, montrant ainsi que la base de la série reste encore inconnue.*

Du reste, la séparation entre les deux parties de la série des schistes cristallins est loin d'être absolue : de vrais *micaschistes*, avec des couches de *calcaires cipolins*, et même de vrais *gneiss*, se rencontrent jusque dans le groupe supérieur : ils alternent souvent, à diverses reprises, avec les schistes chloriteux ou amphiboliques. Ceux-ci, d'ailleurs, par addition de feldspath, passent à des types de *gneiss chloriteux*, comme celui dit *gneiss d'Arolla*, qui joue un rôle capital dans les grandes Alpes du Valais, et dont *l'arkésine* n'est probablement qu'une variété plus granitoïde, avec *amphibole* et *sphène.* Ainsi, dans la série des *pierres vertes*, comme dans celle des vrais *micaschistes* et *gneiss*, les diverses structures *schisteuse, gneissique* ou *granitoïde* alternent entre elles, en concordance, sans qu'il y ait lieu de supposer que le passage de l'une à l'autre soit lié à l'intervention de roches éruptives.

Je ne connais, dans la *zone du Mont-Rose*, aucun gisement bien caractérisé de terrain *carbonifère ;* je crois donc, jusqu'à preuve du contraire, que les schistes cristallins de cette partie des Alpes sont restés à découvert pendant toute la durée des temps paléozoïques, sans être dérangés de leur position horizontale primitive. Ils se sont affaissés graduelle-

* La *Carte Géologique de la Suisse*, de Studer et Escher, n'attribue la dénomination de *granite massif*, (dans notre *zone du Mont-Rose*), qu'au granite bien connu de Baveno (*granulite*), dont le type, nettement éruptif, apparaît entre Biella et le Lac Majeur et se retrouve, sur le prolongement de la même direction nord-est, dans la Valteline et la Haute Engadine.

ment, durant la période du *trias*, pour recevoir le dépôt de ce terrain, dont les étages inférieurs sont souvent peu développés, dans cette zone; mais l'étage supérieur, représenté par les *schistes lustrés*, y acquiert une épaisseur énorme.

On connaît la texture remarquablement cristalline que présentent presque toutes les couches de ce *trias*, dans toute l'étendue de la zone dont il s'agit, et aussi dans une grande partie de nos *deuxième et troisième zones*, en Tarantaise et en Valais. Les calcaires et les dolomies, qui forment principalement l'étage moyen, sont grenus ou saccharoïdes, comme les marbres de Carrare, dont ils sont les équivalents géologiques: ils renferment des cristaux d'*albite*, quelquefois visibles à l'œil nu, mais bien plus généralement à l'état microscopique, comme on les trouve aussi dans les marbres de Carrare; et ces cristaux, dont les formes sont très nettes et les arêtes parfaitement vives, ne sont pas arrachés à des roches préexistantes, mais certainement développés dans le dépôt calcaire qui les renferme. Les *schistes lustrés*, dans lesquels sont intercalés les amas de *gypse*, sont aussi composés, en majeure partie, de minéraux cristallisés, (*quartz*, *mica*, *tourmaline*, *grenats*, etc.), formés aussi, bien certainement, depuis le dépôt des couches qui les renferment. Cette texture cristalline est uniforme; ses éléments sont ordonnés parallèlement à la stratification, qui est toujours très nette; elle est indépendante des actions mécaniques, des pressions ou des glissements que les couches ont pu subir; elle est la même dans les points où les couches sont restées à peu près horizontales et dans ceux où elles sont fortement redressées et plissées. Il est donc bien évident que cet état cristallin du *trias* est un phénomène régional, uniforme et constant, lié à la nature même des dépôts, aux conditions dans lesquelles ils se sont formés et consolidés, et indépendant des dislocations et des plissements qu'ils ont subis plus tard.

La cristallinité générale de cette formation sédimentaire, d'âge relativement récent, peut aider à comprendre l'origine des *schistes cristallins*, bien plus anciens, sur lesquels ce *trias* repose en stratification concordante. Dans ces schistes, également, la disposition des lamelles cristallines, le feuilletage, sont constamment parallèles à la stratification, qui est très nette: il en est ainsi, notamment, lorsque la stratification

est à peu près horizontale, ce qui a lieu sur de grandes étendues, sur le versant italien. Il ne peut être question d'expliquer des caractères aussi uniformes par des phénomènes de clivage ardoisier et de cristallisation sous l'influence d'actions mécaniques locales. C'est bien la cristallisation générale, universelle et originelle, du *terrain primitif*, antérieur à toutes les formations sédimentaires proprement dites.

Vers la limite nord-ouest de notre *zone du Mont-Rose*, dans la Savoie et dans le Valais, les schistes cristallins affleurent souvent très près ou même au contact de la grande bande continue des *grès à anthracite*, qui est l'élément le plus important de notre *troisième zone.*

Ces grès, d'après leurs végétaux fossiles, appartiennent, on le sait, à la base de l'étage houiller supérieur (niveau de Rive-de-Gier).

Le plus souvent, la limite entre les deux zones est marquée par une *faille*, et l'on ne peut pas voir les rapports stratigraphiques réguliers entre les grès à anthracite et les schistes cristallins. Mais quelquefois ces derniers apparaissent aussi sous les grès de la *troisième zone*, comme cela se voit au pont de St.-André, tout près de la gare de Modane; et alors il y a *concordance* entre les feuillets des schistes cristallins et les couches de grès carbonifère.

Dans cette localité de St.-André et sur plusieurs autres points de la même limite, à Bozel, Macot, Pesey, Sainte-Foy, etc., on trouve, dans la partie inférieure des grès carbonifères, des *conglomérats* plus ou moins grossiers, formés des fragments, à peine roulés, de schistes cristallins identiques à ceux qui affleurent dans le voisinage. Il est donc bien évident que *le feuilletage et la cristallisation des schistes cristallins sont des faits antérieurs à la période carbonifère.*

D'autre part, dans cette partie de notre *deuxième zone alpine* qui comprend Moutiers, Courmayeur et Saxon, le *trias* s'étend avec la même puissance et le même facies cristallin que dans la zone du Mont-Rose. Son étage supérieur, celui des *schistes lustrés*, contient de nombreuses intercalations de poudingues, souvent très grossiers, où l'on voit parfois des blocs de plusieurs décimètres de grand axe, et les cailloux proviennent de roches très variées: des *schistes cristallins*, des *grès à anthracite*, des *quartzites* de l'étage inférieur du

même *trias*, des dolomies et calcaires cristallins de son étage moyen, et même des *schistes lustrés* qui ne peuvent être que des assises *triasiques* inférieures à ces conglomérats Comme tous ces cailloux roulés ont la structure caractéristique, cristalline ou feuilletée, des roches dont ils proviennent, et que leurs feuillets, dans les conglomérats, ont des directions quelconques, il faut en conclure que la cristallinité et le feuilletage des roches du *trias*, dans cette région, datent de la période même où s'effectuait encore le dépôt de ce terrain et sont indépendants de toutes les dislocations, pressions, etc., qu'il a pu subir ultérieurement. C'est encore une preuve frappante à l'appui des conclusions formulées ci-dessus pour l'époque du feuilletage des schistes cristallins.

Des conglomérats analogues, non moins grossiers et non moins variés dans leurs éléments, s'observent aussi, au sud de Moutiers, dans le *Lias* (au col du Golet) et dans l'*éocène nummulitique* du massif des Encombres. Chacun de ces conglomérats contient des fragments de toutes les formations précédentes. Les couches de tous ces terrains, depuis les *schistes cristallins* de la gare de Modane, jusqu'aux calcaires *éocènes*, sont parallèles et ont subi ensemble les mêmes dislocations, les mêmes plissements, si nettement dessinés dans la grande coupure de la Maurienne. Il en résulte que la texture feuilletée ou cristalline des roches de ces divers terrains, est, pour chacun d'eux, un fait antérieur au dépôt de celui qui le recouvre, et absolument indépendant des grandes actions mécaniques qui n'ont façonné ces terrains en montagnes que postérieurement à la période *éocène*.

Il est un autre fait remarquable, commun à l'ensemble de ces terrains, depuis le *trias* jusqu'à l'*éocène*, et qui jettera, peut-être, quelque lumière sur les conditions physiques par suite desquelles les éléments de ces diverses formations sédimentaires se sont groupés en combinaisons cristallines. Dans un grand nombre de calcaires de ces terrains, on rencontre, comme résidus de la dissolution par les acides, des cristaux microscopiques d'*albite* (toujours aplatis suivant le plan diagonal g^1), des *quartz* bipyramidés très nets, des aiguilles délicates de *tourmaline*, des lamelles très minces de *mica*. Ces minéraux s'obtiennent ainsi complètement dégagés, avec des formes très nettes, à angles vifs

et mesurables, attestant qu'ils ont bien été formés sur place, dans la gangue calcaire, et non arrachés à des roches préexistantes. Les marbres *triasiques* du Petit-Saint-Bernard, de l'Étroit du Siex et du Bois, près Moutiers, de même que les marbres de Carrare, sont remplis de beaux cristaux microscopiques d'*albite*; on retrouve ces mêmes cristaux dans la lumachelle *rhétienne* à *Avicula contorta* depuis le nord de la Savoie jusqu'à Digne; dans un grand nombre de calcaires des divers étages *jurassiques* de la même région, particulièrement parmi ceux qui sont fossilifères et qui montrent le *facies littoral* le mieux caractérisé. Enfin la présence des mêmes cristaux est aussi très fréquente dans les *calcaires à nummulites* de la région alpine, depuis Moutiers jusqu'à Gap; je les ai retrouvés dans les *calcaires à nummulites* de Ragatz, et ils se rencontreront, sans doute, dans bien d'autres gisements analogues.

Au même ordre de faits appartient la présence de cristaux microscopiques d'*orthose*, en lamelles minces, aplaties suivant la base, accompagnant le *quartz* bipyramidé, dans les concrétions géodiques des *marnes oxfordiennes* de la région subalpine du Dauphiné; fait d'autant plus intéressant qu'il se montre en dehors de la région où se sont exercées les grandes actions dynamiques des chaînes alpines.

Dans ces cas si nombreux et si variés, le développement des cristaux microscopiques de feldspaths et autres silicates a eu lieu dans la roche même qui les renferme, avant sa consolidation et dans la période géologique de son dépôt. Ainsi dans les *schistes lustrés* du *trias* supérieur, à Aigueblanche, près Moutiers, on rencontre des conglomérats contenant des cailloux roulés du marbre *triasique*, de l'étage moyen du même terrain; et ces cailloux renferment des cristaux d'*albite*, comme la roche en place dont ils proviennent. Ces circonstances montrent clairement que la formation de ces cristaux microscopiques est de date plus ancienne que les grands phénomènes dynamiques qui ont disloqué et plissé les couches de tous les terrains de cette partie des Alpes.

Puisque ces minéraux silicatés, identiques ou très analogues à ceux des schistes cristallins (*feldspaths*, *mica*, *quartz*, *tourmaline*) se sont formés dans des dépôts *secondaires* et *tertiaires* très divers, indépendamment de toute trace

d'actions éruptives ou d'émanations spéciales, et antérieurement aux actions dynamiques qui ont, plus tard, disloqué et plissé ces terrains, il n'est pas nécessaire de supposer, pour la formation des *schistes cristallins primitifs*, des circonstances physiques absolument différentes de celles des périodes géologiques secondaires ou tertiaires.

A l'époque reculée où se sont formés ces schistes, il n'y avait pas de reliefs ; par conséquent, pas de formations détritiques. Dans un océan universel, sans doute plus chargé de matières salines et plus chaud que les mers actuelles, l'existence des êtres organisés n'était pas encore possible, et il s'y produisait uniformément des combinaisons, des minéraux cristallisés, dont la formation est devenue, plus tard, bien plus restreinte et plus locale. Mais nous retrouvons encore les traces de réactions analogues jusque dans les dépôts de ces singuliers *fiords* de la période *éocène* qui s'étendaient sur une partie de l'emplacement actuel de nos chaînes alpines.

II.

Nous comprenons dans notre *première zone alpine*, ou *zone du Mont-Blanc*, en Suisse, les massifs des Alpes Bernoises et du St.-Gothard; en Savoie, ceux des Aiguilles Rouges et du Mont-Blanc; la chaîne de Belledonne, traversant en entier les deux départements de la Savoie et de l'Isère, de Mégève à Valbonnais; le petit massif du Rocheray, près St.-Jean-de-Maurienne; le massif des Rousses, en Oisans; le massif du Pelvoux, entre le Drac et la Durance; enfin le massif des grandes Alpes Maritimes, entre le col de l'Argentière et le col de Tende.

Le trait caractéristique commun à tous ces massifs consiste en ce que les *schistes cristallins* y sont, presque toujours très inclinés ou à peu près verticaux et ne paraissent pas présenter le type de structure régulière en grandes voûtes, en grands plis anticlinaux, des massifs de la *zone du Mont-Rose*. Cela tient à ce que la *zone du Mont-Blanc* est réellement la partie ancienne du système orogénique des Alpes, et que *sa structure résulte de dislocations de diverses époques.*

Il existe, dans cette zone, des *grès à anthracite*, bien moins puissants et moins continus que ceux de la *troisième zone*

alpine, et qui, d'après leurs végétaux fossiles, doivent être un peu plus récents et prendre rang entre les houilles de Rive-de-Gier et celles de Saint-Etienne. Dans le canton de la Mure (Isère), qui contient les exploitations d'anthracite les plus importantes des Alpes occidentales, l'épaisseur de ces grès ne dépasse pas 300 mètres. La discontinuité de ces dépôts, leur faible puissance et les variations de *facies* qu'ils présentent tendent à indiquer qu'ils ont été formés dans de petits bassins peu étendus.

Sur le versant ouest de la zone, on peut reconnaître des traces de dislocations des schistes cristallins, antérieures au dépôt de ces grès carbonifères. Elles sont indiquées par des discordances très nettes, sur divers points du bassin de a Mure; on peut citer, au même titre, le petit lambeau de grès du Clot-Chevalier, au-dessus des anciennes mines d'Allemont (*fig.* 4). Notre profil (*fig.* 2), emprunté en grande partie à M. Alphonse Favre, montre la même discordance aux environs de Servoz (Savoie), et les coupes données par M. Renevier l'indiquent également, dans le Bas-Valais, à la base des Dents de Morcles. Mais sur le versant oriental de la même zone, dans l'Oisans, le massif des Rousses, etc., il y a généralement concordance entre les grès carbonifères et les schistes cristallins.

Ces grès carbonifères de la *première zone*, aussi bien que ceux de la *troisième*, sont accompagnés de conglomérats, contenant de volumineux débris de schistes cristallins feuilletés, dont les caractères pétrographiques sont, en général, ceux des roches cristallines sous-jacentes. Ces conglomérats sont bien connus, sur le versant ouest : ce sont les *poudingues de Valorsine*, dont on trouve les analogues aux environs de Beaufort et aussi de la Mure. Mais ils ne sont pas moins caractérisés sur le versant est, particulièrement sur celui des Grandes-Rousses (profil *fig.* 4). Le grès houiller étant là concordant avec les schistes cristallins, l'existence de gros fragments de ces schistes, déjà feuilletés, dans ces poudingues, démontre clairement que le feuilletage est antérieur à toutes les dislocations qui ont affecté le massif en question.

C'est après le dépôt des *grès à anthracite*, entre la période *carbonifère* et celle du *trias*, qu'ont eu lieu les principales dislocations qui ont redressé et contourné les schistes cristallins

et les grès à anthracite de notre *première zone*. On peut poser en fait général que, partout où les couches du *trias* s'y montrent à peu près horizontales, elles reposent en stratification discordante sur les tranches des terrains anciens, soit grès à anthracite, soit schistes cristallins. Dans cette zone, le *trias* est toujours très mince ou incomplet, et souvent il manque : c'est encore une analogie avec le Plateau central de la France. Alors, c'est entre le *lias* et les terrains anciens que la discordance se manifeste de la même manière.

On peut constater à toutes les altitudes, en Oisans, à moins de 800 mètres sur le chemin de la Garde, à plus de 2,000 mètres dans les pâturages des Rousses, de Riftord, etc. (*fig.* 4) et jusqu'à près de 3,500 mètres sous le glacier du Mont-de-Lans et au col de la Lauze, des témoins de l'extension de ces terrains secondaires, en couches horizontales, sur les tranches des schistes cristallins déjà redressés, presque verticaux. Le même fait est bien connu en Savoie : dans les basses altitudes, à Flumet, à Mégève, et d'autre part, dans les hauteurs, au plateau du Col des Fours (2,720 mètres), extrémité sud du massif du Mont-Blanc, et au sommet le plus élevé des Aiguilles Rouges (2,960 mètres), si bien décrit par M. Alphonse Favre.

La position horizontale de ces divers lambeaux de terrains secondaires, à des altitudes si diverses, atteste le caractère des dislocations qui ont eu lieu dans cette partie des Alpes à des époques plus récentes. Les terrains anciens, depuis longtemps plissés, en couches fortement redressées et rabotées sur leurs tranches, avant le dépôt du *trias*, se sont comportés, dans leur ensemble, comme des masses rigides et ne se sont plus prêtés à de nouveaux plissements : ils ont été découpés par des *failles* et il s'y est produit des *glissements*, des dénivellations, suivant les plans de fracture et en même temps suivant les joints de stratification. Au contraire, les terrains secondaires, encore horizontaux, se sont comportés comme des corps flexibles et même plus ou moins plastiques, surtout quand l'élément argileux dominait dans leur composition. Ils n'ont été rompus complètement que par des failles d'importance majeure ; partout ailleurs, ils se sont adaptés, par des glissements et des replis multipliés, aux nouvelles formes de leur base disloquée, de manière à en

mouler, pour ainsi dire, les saillies, les dépressions, les angles rentrants, dans toutes les positions possibles. Cette couverture flexible a glissé, en majeure partie, dans les dépressions résultant de l'affaissement de certaines parties de sa base, disloquée par les failles. C'est ainsi qui les terrains secondaires se montrent, sur les flancs des vallées alpines, en couches fortement inclinées, contournées en plis multiples, qui contrastent avec les allures uniformes des terrains anciens. J'ai expliqué ainsi, à diverses reprises, les anomalies apparentes, tant de fois citées, dans les rapports mutuels des terrains anciens et des terrains secondaires de la *zone du Mont-Blanc*, soit en Dauphiné et en Savoie, soit dans les Alpes Bernoises,* et ce serait sortir de la question qui doit nous occuper ici que de revenir sur la discussion de ces faits, dont les profils joints à la présente notice représentent des exemples et en donnent clairement l'explication.

Ce qu'il convient de noter ici, c'est que les puissantes actions mécaniques résultant de ces dislocations de la *première zone alpine* ont déterminé souvent, dans les calcaires argileux du *lias*, des phénomènes d'étirement, de laminage, et surtout le *clivage ardoisier* dans un sens autre que celui de la stratification; elles y ont déterminé des fractures dans lesquelles ont cristallisé du calcaire spathique et du quartz; mais la texture intime de la roche n'est pas devenue, pour cela, plus cristalline que dans les parties moins énergiquement disloquées, et le développement de cristaux microscopiques de feldspath, par exemple, n'y est nullement subordonné à l'intensité des actions dynamiques auxquelles les couches ont été soumises.

Quant aux *schistes cristallins*, dont le plissement avait eu lieu à la fin de la période *carbonifère* et avant celle du *trias*, les dislocations plus récentes ont nécessairement détruit la régularité de leurs plis anticlinaux ou synclinaux. Il était résulté, du plissement même, des lignes de moindre résistance, tout indiquées pour l'emplacement des nouvelles fractures. C'est vers les axes des ruptures anticlinales, ou suivant les bandes de micaschistes, partie la moins résistante des schistes cristallins, que se sont effectués, de préférence,

* *Bulletin de la Société Géologique de France*, 3e série, t. i., p. 397, 1874.

les affaissements qui ont donné lieu aux vallées alpines actuelles : c'est suivant ces directions, et *presque jamais suivant les anciens plis synclinaux*, que les terrains anciens ont été découpés en massifs, séparés par les bandes d'affaissement, où les terrains secondaires, s'adaptant aux nouvelles formes de leur base disloquée, sont descendus en se plissant ; et leurs couches fortement inclinées, souvent bizarrement plissées, revêtent les parois latérales de ces dépressions. La vallée de Chamonix et l'Allée-Blanche (*fig.* 2), la Combe d'Olle (*fig.* 3), la vallée inférieure du même cours d'eau, à Allemont (*fig.* 4) et celle du Bourg-d'Oisans, qui lui fait suite, sont autant d'exemples de ce type de vallées alpines longitudinales de la *zone du Mont-Blanc.*

Les massifs de schistes cristallins, tels qu'ils subsistent aujourd'hui dans cette zone, sont de *grandes ruines restées debout*, quelques-unes même, peut-être, exhaussées par des poussées locales, au milieu des autres parties du *terrain primitif*, qui se sont affaissées, soit en masse, suivant de grandes *failles*, soit en détail, par des glissements échelonnés, suivant des *diaclases* multiples ou suivant les joints de stratification. *Aucun d'eux ne représente une voûte régulière, un pli anticlinal, simple et complet.* C'est ce que mettent en évidence les profils que nous avons groupés dans la planche ci-jointe, comparés à la voûte régulière du massif du Simplon. Mais en même temps, ces profils montrent que les divers types de schistes cristallins se présentent, dans cette zone, comme dans la *zone du Mont-Rose*, se succédant dans le même ordre et se classant de même en deux groupes : le groupe supérieur, des schistes sériciteux, chloriteux et amphiboliques (*s. c.*, *s. c. a.*, *s. a.*) et le groupe inférieur, celui des micaschistes (*ms*) et des vrais gneiss anciens (*gn.*).

Dans le groupe inférieur se montre une tendance à la structure *granitoïde*, d'apparence plus ou moins massive, mais encore stratiforme en grand : les roches se chargent de *mica blanc* et passent à la texture *granulitique.* C'est ce que l'on observe suivant les axes anticlinaux, pour la chaîne de Belledonne, par exemple, aux environs de Cevins, en Tarantaise, d'Epierre, en Maurienne, dans le cirque des Sept-Laux (*fig.* 3), à la base du massif des Rousses (*fig.* 4) et dans les diverses anticlinales de la moitié ouest du massif du Pelvoux

(*fig.* 5) jusqu'au vallon anticlinal des Étages, où le type granulitique est le plus caractérisé. Mais les roches massives en filons y sont toujours rares et peu étendues; telles sont le *granite* de Valorsine, dans le massif des Aiguilles Rouges, et les veines *granulitiques* des gorges de l'Olle, traversant les gneiss et les micaschistes, à l'est du cirque des Sept-Laux (*fig.* 3), sans pénétrer dans les schistes supérieurs, amphiboliques ou chloriteux.

Les schistes cristallins du groupe supérieur ont aussi une tendance à se charger de feldspath, de plus en plus, à mesure qu'on approche de la limite intra-alpine de la zone. Il semble que cela doit correspondre à des émissions alcalines qui se seraient effectuées, à l'époque même de la formation de ces roches, suivant la direction qui est devenue, plus tard, celle de la grande *faille* limitant actuellement la zone. Les schistes passent ainsi à des *gneiss chloriteux*, analogues à ceux de la gare de Modane (3e zone) ou au *gneiss d'Arolla* (4e zone), que nous avons mentionnés dans la première partie de cette notice; quelquefois aussi à des gneiss granitoïdes, à la fois chloriteux et amphiboliques, par exemple, à Cevins, en Tarantaise, analogues à l'*arkésine* des Alpes valaisannes. Cette feldspathisation des schistes chloriteux et amphiboliques est très marquée, dans la synclinale médiane du massif du Pelvoux, entre St.-Christophe et les Étages (Aiguille du Plat, Chamforant, Montagne de l'Ours, les Fétoules, etc., profil *fig.* 5), et même dans le prolongement nord de cette synclinale, qui passe à la mine du Grand-Clos (*fig.* 4).

La ténacité des schistes chloriteux et amphiboliques, généralement très supérieure à celle des micaschistes et des vrais gneiss, et leur tendance à se charger de feldspath, qui leur donne encore une plus grande consistance, expliquent le rôle principal de ces roches dans la constitution des arêtes culminantes et les plus escarpées des divers massifs de notre *première zone* (voir les profils, *fig.* 3, 4 et 5). Dans le massif du Mont-Blanc et la moitié orientale du massif du Pelvoux, cette conformation en *aiguilles* ou en arêtes abruptes culminantes, découpées suivant des plans verticaux ou voisins de la verticale, caractérise le type de roche, chloriteux aussi et feldspathique, connu sous le nom de *protogine*.

Ce nom, dont il faut oublier le sens étymologique, a été

créé pour désigner le type de roches qui domine dans l'arête principale du Mont-Blanc : il s'applique à des roches *granulitiques* dont le caractère spécial consiste en ce que le mica y est pénétré et en partie remplacé par de la *chlorite*. La protogine granitoïde contient toujours deux feldspaths, *orthose* et *oligoclase*, et une partie de l'*orthose* y est ordinairement remplacée par du *microcline*.

Même dans ses variétés les plus granitoïdes, et dans son plus grand développement, la protogine ne paraît jamais offrir les allures d'une roche franchement massive : ses divisions stratiformes, à peu près verticales ou fortement inclinées, sont toujours visibles et rendues plus nettes encore par des alternances avec des variétés plus ou moins schisteuses, passant au *gneiss chloriteux*. Ce feuilletage en grand de la roche du Mont-Blanc a été signalé par de Saussure et confirmé par tous les géologues qui l'ont étudiée depuis, et surtout par M. Alphonse Favre : il offre le type célèbre de la *structure en éventail*, tant de fois discutée (profil *fig.* 2), dont j'avais proposé une explication pour un cas différent, concernant les gneiss granitoïdes du *groupe inférieur*.* Mais si la protogine appartient bien, comme nous le pensons, au *groupe supérieur*, celui des *schistes chloriteux*, le Mont-Blanc ne doit point être considéré comme une voûte centrale de soulèvement, et sa *structure en éventail* devient simplement un *pli synclinal* très aigu de ce groupe supérieur des schistes cristallins, isolé entre deux *failles*, suivant lesquelles se sont affaissées, en se plissant elles-mêmes en forme d'U, incliné, ou même étranglé dans le haut, les deux bandes de *lias* de la vallée de Chamonix et du Val d'Entrèves.

Une confirmation frappante de cette théorie de la *structure en éventail* me paraît résulter de la coupe représentée dans la partie gauche de notre profil (*fig.* 1). Cette coupe, tracée d'après les beaux travaux de M. de Fellenberg pour la *Carte Géologique de la Suisse* (feuille XVIII), et que nous avons eu l'avantage d'étudier sur place, sous la conduite de cet habile géologue, traverse l'extrémité sud-ouest du massif des Alpes Bernoises. Elle montre nettement, dans le Lœtschenthal, l'axe du massif occupé par les *schistes à séricite*, avec les

* *Description Géologique du Dauphiné*, 1[re] partie, § 100, p. 181, (1860).

schistes chloriteux et amphiboliques, dans les pentes adjacentes, tandis que les micaschistes et les gneiss forment les deux bandes extérieures. La *protogine* s'y montre aussi, mais seulement comme un gros *amas*, intercalé dans les schistes chloriteux et amphiboliques, dont la tranche est restée en saillie, par suite de sa plus grande résistance aux agents atmosphériques, et constitue la belle sommité du Bietschhorn. Mais cet *amas* s'amincit rapidement, en direction, et cesse précisément au bord de la coupure transversale, qui, de Gampel à Ferden, donne accès jusqu'au cœur du massif.

Quant au massif du Pelvoux, notre profil (*fig.* 5) montre que la *protogine* y occupe une largeur bien plus grande encore qu'au Mont-Blanc. Comme dans celui-ci, elle y est *stratiforme* en grand, et alterne avec des variétés manifestement feuilletées, avec des *gneiss chloriteux*, comme ceux des parties occidentales du massif. Je suis porté à y admettre une série de plis anticlinaux et synclinaux : les anticlinaux correspondant au Vallon des Étages, à la Barre des Escrins (versant ouest), et à la Combe d'Alefroide ; et les plis synclinaux, l'un à la Combe de la Pilatte et l'autre au versant est des Escrins (Glacier Noir) et aux sommités du Mont-Pelvoux. Ces plis, de même que ceux de la moitié occidentale du massif, ont une direction à peu près méridienne et se continuent, au nord, jusqu'à la Romanche et au col du Lautaret, comme le montre, en partie, le profil (*fig.* 4). On peut ainsi constater nettement que la structure du massif du Pelvoux, dans son ensemble, ne saurait être assimilée, comme l'avait pensé Élie de Beaumont, à celle d'un *cratère de soulèvement*, autour duquel les diverses assises des schistes cristallins seraient redressées uniformément.

Les conditions dans lesquelles se montre ce grand développement de *protogine*, dans la partie orientale du massif du Pelvoux, peuvent être éclaircies par l'observation des gisements bien plus restreints de la même roche, au sud du Bourg-d'Oisans. D'une part, sur la rive gauche, où elle est exploitée comme pierre de taille, elle forme un placage à peu près vertical contre les micaschistes, en dessous de la Gardette et du Villard-Eymont. D'autre part, sur la route de Venosc, à partir du Pont St.-Guillerme, elle alterne avec des schistes amphiboliques ou chloriteux, auxquels elle est

intimement liée; et au tournant où la route touche le Venéon, on la voit se rattacher à des filons de *granulite*, traversant les micaschistes. La *protogine* paraît donc provenir d'une modification des schistes chloriteux, à l'époque même de leur formation, par un accroissement considérable de l'élément feldspathique, résultant d'émissions *granulitiques* qui auraient eu lieu à travers les *gneiss* et les *micaschistes*. De là, d'un côté, aux Étages, le *gneiss*, profondément modifié par l'influence granulitique; de l'autre, vers la Bérarde, la *protogine* stratiforme, remplaçant, avec une épaisseur bien plus grande, les *schistes chloriteux* de la partie occidentale du massif.

On ne peut s'empêcher de remarquer que ce remplacement des schistes chloriteux par la *protogine*, dans le massif du Pelvoux, comme dans celui du Mont-Blanc, se présente précisément suivant la limite intra-alpine de notre *première zone* ou *zone du Mont-Blanc*, limite marquée actuellement par cette grande ligne de *faille*, que l'on peut suivre, sur plus de soixante lieues, depuis Vallouise jusqu'à Airolo. D'un côté à l'autre de cette grande *faille*, s'observent les contrastes frappants du *trias* rudimentaire de la *zone du Mont-Blanc*, avec l'énorme développement des *quartzites* et des *schistes lustrés* de la Tarantaise et du Valais; du *lias* argilo-schisteux, ardoisier, de la *première zone*, avec le *lias* compact des Encombres et du Briançonnais; et c'est le long du bord oriental de cette grande fracture que s'enfonçait ce singulier *fiord* de la mer *éocène*, dont on peut suivre les dépôts depuis les Alpes Maritimes jusqu'au pic du Cheval-Noir, près de Moutiers; enfin c'est en conformité avec la direction de cette *faille* que se sont produites les dislocations les plus compliquées des Alpes occidentales.

Mais l'origine de ce trait fondamental de la structure de ce grand système de montagnes remonte bien au delà des périodes correspondantes aux diverses formations sédimentaires de la région. Il est marqué, dans la période de formation des *schistes cristallins*, par cette direction d'émissions *granulitiques* qui, sans donner naissance à des masses franchement éruptives, bien importantes, ont modifié les caractères des *gneiss* et des *micaschistes* plus anciens et ont développé, dans la formation contemporaine, celle des

Profils géologiques de quelques ma

Zone subalpine.

Zone du Mt Blanc. — Massif des Alpes Bernoises

Doldenhorn

Lœtschenthal

Bietschhorn

j l t

gn-gr.

s.c.

pr. s.c.a. gn ms gn m

Fig 2. — Ech. $\frac{1}{160.000}$

Ire Zone alpine ou Zone

Zone subalpine Les Fiz.

Massif des Aiguilles Rouges

Brévent Vallée de Chamonix

l th h

s.c. ms gn ms l ms s.c.a.

Fig. 3 — Echelle $\frac{1}{160.000}$

Ire Zo

Zone subalpine

n. j

Vallée de l'Isère

a' a l

Laval

L t

Fig. 4.

Ech. $\frac{1}{160.000}$

Ire Zone alpine

Chaîne de Belledonne.

Belledonne

h Mines

Vallée de l'Olle

Allemont.

l h s.c. s.a. s.a. s.a ms l l

Fig. 5. — Ech. $\frac{1}{160.000}$

Ire Zone alpine ou Zone du M

Brèche de Lauvitel

Roche de la Muzelle

l'Auzanoure

Combe de la Lavey

l. l.

ms gn gn ms ms gn gn ms s.c ms gn ms j.

Profils géologiques de quelques massifs de schistes crista

Zone subalpine. | Zone du Mt Blanc. — Massif des Alpes Bernoises. | Zone du Mt Rose. —

Doldenhorn t Lœtschenthal Bietschhorn Vallée du Rhône Brieg.

gn-gr. s.c. pr. s.ca. gn ms gn ms gn t t ms s.ca.

Fig 2. — Ech. 1/160.000 — Ire Zone alpine ou Zone du Mont-Blanc

Zone subalpine Les Fiz. | Massif des Aiguilles Rouges | Mont-Blanc. | Mt Ch

Brévent Vallée de Chamonix.

l th h s.c. ms gn ms l ms s.c.a. pr. pr l

Fig. 3 — Echelle 1/160.000 — Ire Zone alpine : Chaîne de Belledo

Zone subalpine

Laval Cirque des Sept-Laux.

Vallée de l'Isère

n. j a' a l l th s.c s.a. ms gn gn-gr. gn

Fig. 4. Ech. 1/160.000 — Ire Zone alpine

Chaîne de Belledonne. Massif des Rousses.

Belledonne h Mines Vallée de l'Olle Allemont.

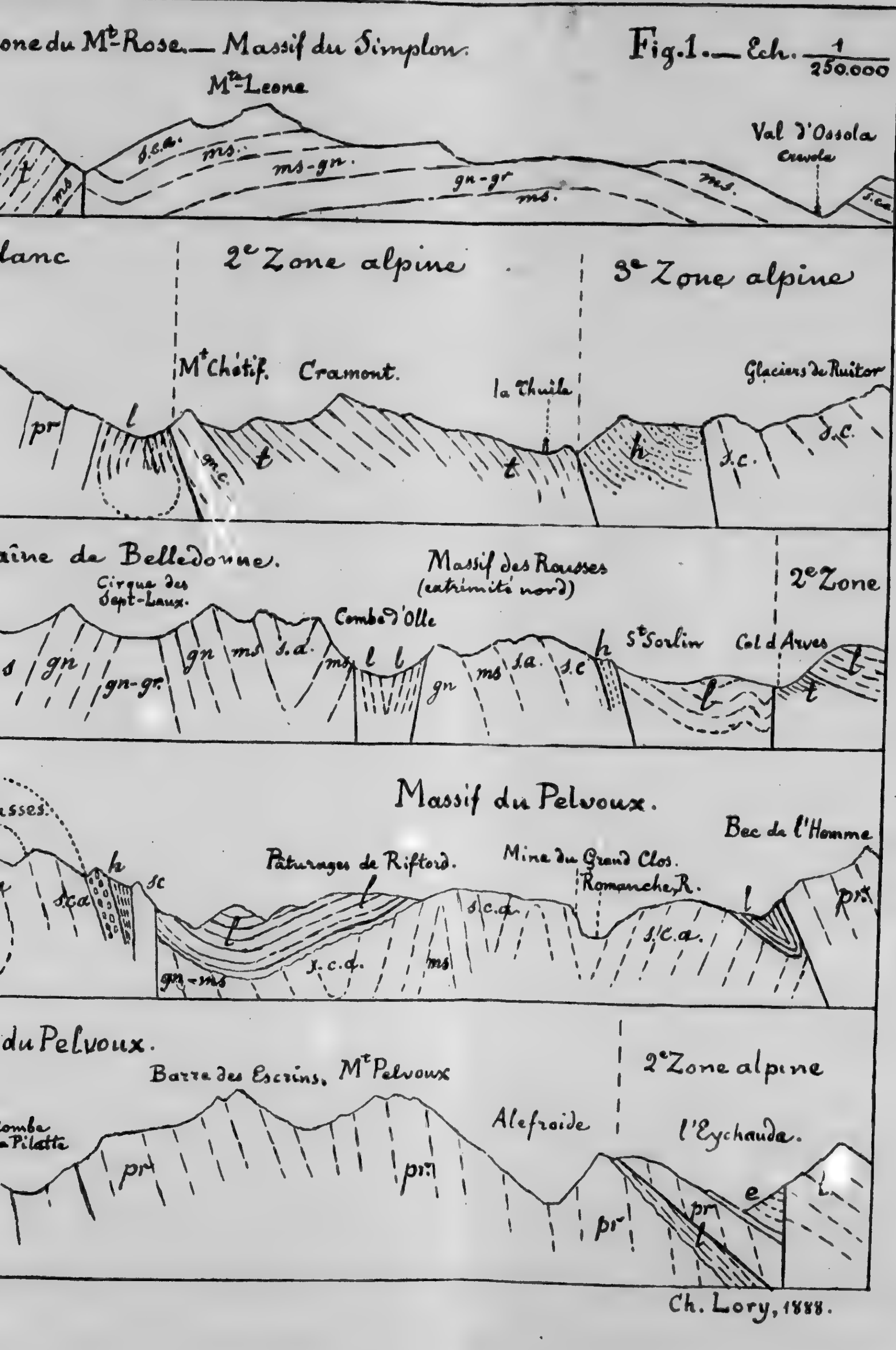
h l s.c. s.a. s.a. s.a. ms l l l l h gn gn gn s.c.a s.c.a h sc gn-ms

Fig. 5. — Ech. 1/160.000 — Ire Zone alpine ou Zone du Mt Blanc — Massif du Pelvoux.

Brèche de Lauvitel Roche de la Muzelle l'Auzanoure Combe de la Lavey Vallon des Etages Gde Aiguille Combe de la Pilatte Barre d

l. l. ms gn gn ms ms gn gn ms s.c ms gn ms s.c. gn.gr. pr pr

histes cristallins des Alpes occidentales.



a, Alluvions modernes.
a', Alluvions anciennes.
e, Eocène.
c, Crétacé supr.
n, Néocomien
j, Jurassique
l, Lias
t, Trias
h, grès houiller
s.c. {Schistes à séricite / Schistes chloriteux}
s.c.a. {Schistes chloriteux / et amphiboliques.}
s.a. Schistes amphiboliques
pr. Protogine
ms. Micaschistes
gn Gneiss
gn.gr. Gneiss granitoïde.

Ch. Lory, 1888.

schistes chloriteux et *amphiboliques*, le caractère feldspathique dont la roche granitoïde dite *protogine* est le type le plus complet.

Tous ces faits sont des confirmations frappantes des idées que je formulais, il y a dix ans, dans la séance d'ouverture du premier *Congrès International de Géologie*, à Paris, en 1878,* et que j'ai développées depuis, en les précisant davantage, par les observations faites sur place, pendant la *Réunion de la Société Géologique de France à Grenoble*, en 1881.† J'ai essayé de les exposer, dans la présente notice, sous une forme plus nette, en groupant un plus grand ensemble de faits et les reliant entre eux par une série de profils *réels et non théoriques*, dont je crois pouvoir garantir l'exactitude; et je serais heureux si cet essai peut contribuer à éclaircir quelques points douteux de la question fondamentale des *schistes cristallins*.

* *Comptes-rendus sténographiques de ce Congrès*, pp. 39–43.

† *Bulletin de la Société Géologique de France*, 3e série, t. ix., pp. 652-679, 1881.

BEMERKUNGEN ZU EINIGEN NEUEREN ARBEITEN ÜBER KRYSTALLINISCH-SCHIEFRIGE GESTEINE.

Von

PROFESSOR DR. J. LEHMANN.

Indem ich der ehrenvollen Aufforderung, einen Beitrag für die Discussion der krystallinischen Schiefer zu liefern, nachkomme, muss ich zu meinem Bedauern aussprechen, dass meine Zeit es mir nicht gestattete durch neue Beobachtungen strittige Fragen zu klären. Andere Aufgaben haben mich seit längerer Zeit vollauf beschäftigt, so dass ich nur ab und zu einen jüngeren Fachgenossen, Herrn Emil Danzig in Rochlitz, bei Untersuchungen im sächsischen Granulitgebirge durch einen Rath habe unterstützen können. Diese kürzlich vollendete und den Mitgliedern des Congresses zur Verfügung gestellte Arbeit empfehle ich den sich für diesen Gegenstand interessirenden Fachgenossen zur Kenntnissnahme, weil darin die Granulitfrage sachgemäss behandelt und um einen Schritt weiter gefördert worden ist.

Ich für meinen Theil muss mich noch auf diejenigen Ergebnisse stützen, welche meine Untersuchungen über die altkrystallinischen Schiefergesteine mir vor vier Jahren ergeben haben.

Die zum grössten Theil zustimmende Aufnahme meiner damaligen Untersuchungen hat doch wohl bewiesen, dass ich einen richtigen Weg eingeschlagen habe, und eine Förderung unserer Anschauungen über die krystallinischen Schiefer daraus erwachsen ist. Es wird dies auch dadurch bewiesen, dass meine Betrachtungsweise auch an anderen Orten erfolgreich angewandt worden ist. Dass sich dabei mehrfach auch eine nicht ganz richtige Wiedergabe der von mir vertretenen Ansichten findet, ist nicht weiter auffällig und hat wohl kaum ganz vermieden werden können. Schuld

daran ist in erster Linie wohl der Umstand, dass ich es — freilich absichtlich — unterlassen hatte, in einem Schlusskapitel eine Zusammenfassung der Resultate zu geben. Meine Absicht war aber damals nicht, neuen oder alten Hypothesen Verbreitung zu verschaffen, sondern specielle Vorkommnisse, darunter vornehmlich das sächsische Granulitgebirge, zu erklären.

Ich muss aber ganz entschieden der Ansicht entgegentreten, als ob ich leichtfertig Theorieen geprägt und verallgemeinert hätte, und ich halte es für nothwendig hier an dieser Stelle auf eine Reihe von irrthümlichen Behauptungen aufmerksam zu machen, ehe sich dieselben einbürgern.

Bekanntlich handelt es sich bei den sächsischen Granuliten darum, ob die bei ihnen zum Theil sehr deutlich ausgebildete schichtenartige Parallelstructur als eine wahre Schichtung im Sinne sedimentären Absatzes angesehen werden müsse, oder ob trotz dieser anscheinenden Schichtung der Granulit eruptiven oder plutonischen Ursprungs sein könne. Dieselben Fragen werfen sich bei allen anderen krystallinisch-schiefrigen Gesteinen auf; die Beantwortung wird aber durchaus nicht überall die gleiche sein müssen. Es ist zweifellos, dass eine ganze Reihe krystallinisch-schiefriger Gesteine einen sedimentären Ursprung hat, und ist es Sache der Untersuchung im Einzelnen zu zeigen, welche Gesteine für sedimentär und welche für eruptiv oder plutonisch gehalten werden müssen. Die Resultate, welche ich bei der Untersuchung des sächsischen Granulitgebirges und einiger nicht allzu entfernter Territorien erhalten, beanspruchen deshalb — wie das von mir wiederholt hervorgehoben ist — keine allgemeine Gültigkeit.

Zu den von mir gegebenen Erklärungsversuchen bin ich durch die eingehende Beobachtung des geologischen Auftretens der betreffenden Gesteine bei Gelegenheit einer mehrjährigen Kartirung und durch die genaue Untersuchung ihrer Structur gelangt und kann es sich nur darum handeln, wie weit die für eine Reihe von Erscheinungen mit Gewissheit als richtig erkannte Erklärung auch auf andere verwandte Erscheinungen bezogen werden könne. Es darf nun wohl billig eingeräumt werden, dass ich mit jenen Erschei-

nungen, welche ich als plutonische Metamorphose, hervorgebracht durch die gebirgsbildenden Pressungen, bezeichnet habe, so gut wie irgend Jemand vertraut bin, und mir das Auftreten dieser Metamorphose auch da noch deutlich ist, wo Andere eine solche nicht zugestehen möchten. Dass ich in meinen Erklärungsversuchen hie und da zu weit gegangen bin, ist mir selbst nicht verborgen, war es doch unmöglich in einer so schwierigen Frage, wie es die Granulitfrage ohne Zweifel ist, die ihren endgültigen Abschluss noch heute nicht gefunden hat, bei der Erklärung von Einzelheiten gerade nur so weit zu gehen, dass [illegible]re Erfahrungen daran nichts zu modificiren vermochten. Ich selbst habe diese Erklärungen dann aber nur als tastende Versuche angesehen und keineswegs gewollt, dass die von mir gemachten Andeutungen als gültige Erklärungen angesehen werden sollten.

J. Roth hat nun in einer Sitzung der königl.-preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 23. Juni vorigen Jahres eine Arbeit „über den Zobtenit" vorgelegt, und darin nicht nur seine Ansicht über die Gabbros, sondern überhaupt über die krystallinischen Schiefer ausgesprochen. Roth hat dabei speciell auf das sächsische Granulitgebirge und meine Untersuchungen Bezug genommen. Meine Darstellung jenes Gebirges erscheint ihm als „eine wunderbare Häufung kühnster Hyp[illegible]sen," und ohne auf die Details der Arbeit einzugeh[illegible]rwirft er schlechtweg meine Erklärungen.

Es sind aber durchaus nicht blos altbekannte Dinge, wie J. Roth glaubt, durch deren eifriges Studium ich mir ein Verdienst erworben haben soll, sondern es ist von mir wohl zum ersten Mal an einer Gruppe von krystallinischen Schiefern in ausführlicher Weise gezeigt worden, wie ihre jetzige Beschaffenheit keine ursprüngliche sein kann, sondern sich als eine durch die dynamischen Vorgänge bei der Gebirgsbildung beeinflusste erweist. Obwohl ich versichern kann, dass ich ganz unabhängig auf jene Erklärung gekommen bin und bereits vor dem Erscheinen des wichtigen Werkes von Heim, „Ueber den Mechanismus der Gebirgsbildung," eine genauere Vorstellung jener Vorgänge besass, als sie dort vertreten, so lag es mir doch fern zu behaupten, dass nicht schon vor mir ähnliche Beobachtungen gemacht

worden sind und ich erkenne es mit Freuden an, dass bereits viel früher hervorragende Kenner der krystallinischen Schiefer, wie beispielsweise Kjerulf und Michel-Lévy, solche Beobachtungen gemacht haben. Neu ist aber z. B. die Art und Weise wie ich die Beobachtungen verwerthet habe. Roth hätte sich eben so gut gegen jene Forscher wenden können. Die Arbeiten dieser Art waren bei uns aber lange Zeit in Vergessenheit gerathen; die Lehre von der sedimentären Entstehung der krystallinischen Schiefer war zum herrschenden Dogma geworden und das Eozoon canadense auch in Europa aufgetaucht. Ich sehe es auch als ein Verdienst an, jene älteren Anschauungen bei uns wieder zu Ehren gebracht zu haben, und Roth durfte sich nicht der Verpflichtung überhoben erachten, näher auf jene Vorstellungen und ihre Beweisführung einzugehen.

Demgegenüber hat Roth einfach seinen alten Standpunkt, wonach die krystallinisch-schiefrigen Gesteine bis zu den Phylliten plutonische und unveränderte Gebilde seien, festgehalten und alle gegentheiligen neueren Untersuchungen ignorirt.

Was Roth zum Beweise dafür anführt, dass die lagerartigen Gabbros, welche er Zobtenit nennt, nicht zu den Eruptivgesteinen gezäht werden können, ist aber ganz unzulänglich. Die gelegentliche Beobachtung concordanten Verbandes mit anderen krystallinischen Schiefern, welche Begrenzungsform in den von Pressungen beeinflussten Territorien nothwendig die herrschende sein muss und vielfach als eine secundäre leicht erkannt werden kann, genügt nicht. Theils sind es übrigens sehr unvollständige Notizen über das Auftreten jener Flasergabbros, theils erkennt Roth, wie bei dem Zobten in Schlesien, die Unvollständigkeit der Aufschlüsse selbst an. Das hindert ihn aber alles nicht als bewiesen anzusehen, dass das Gestein dieses Berges nicht eruptiv sein könne. Nach meiner Kenntniss sind die aus dem Diluvium heraustretenden isolirten Vorkommnisse des alten Grundgebirges in Schlesien leider überaus verworren. Die Lagerung der zum Theil in höchstem Maasse metamorphosirten Gesteine kann weder für die eine, noch für die andere Anschauung verwerthet werden,

und sind auch für die Zukunft keine günstigeren Aufschlüsse zu erhoffen.

Für die Vorkommnisse von Gabbro im sächsischen Granulitgebirge ist Roth die Schilderung von Herm. Credner maassgebend, anstatt dass er auf die Untersuchungen derjenigen zurückgeht, welche das sächsische Granulitgebirge kartirt haben. Die Benützung dieses Werkchens: „Das sächsische Granulitgebirge und seine Umgebung. Erläuterung zu der Uebersichtskarte des sächsischen Granulitgebirges und seiner Umgebung,“ macht allerdings manche irthümliche Auffassung bei Roth und bei Anderen erklärlich. In der Uebersichtskarte dieses Autors sind aber so zahlreiche Fehler, welche übrigens zum Theil leicht bei der Correctur hätten vermieden werden können, dass die Benützung dieses Werkchens nur bei eigener Kenntniss des Gebiets rathsam erscheint, zumal die schematischen Darstellungen, Profilangaben, etc. weit über das hinausgehen, was sich wirklich beobachten lässt. Die Verhältnisse im sächsischen Granulitgebirge sind eben durchaus nicht so durchsichtig, dass sich in knapper Form ein richtiges Bild von demselben entwerfen lässt.

J. Roth hat sich nun doch nur wenig eingehend mit dem sächsischen Granulitgebirge und meinen Beobachtungen beschäftigt, sodass den letzteren nur seine Behauptungen gegenüberstehen, die ausserdem noch zeigen, dass er meine Darlegung zum Theil missverstanden hat.

Meine über das Granulitgebirge Sachsens ausgesprochenen Anschauungen finden in der Hauptsache neuerdings Bestätigung durch die erwähnte Arbeit des Herrn E. Danzig in Rochlitz, der im sächsischen Granulitgebirge selbst seit einer Reihe von Jahren ansässig ist und mit offenem Auge jenes interessante Gebiet durchwandert und studirt hat. Obwohl ich mit jenem Herrn in brieflichem Verkehr stand, habe ich es doch vermieden, auf seine Anschauungen bestimmend einzuwirken, und finden sich deshalb auch einige Punkte in seiner Arbeit, mit welchen ich mich nicht vollkommen einverstanden erklären kann. Auch aus dieser Arbeit geht hervor, wie verwickelt die Verhältnisse im Granulitgebirge liegen und dass nicht alle Aufschlüsse eine unzweideutige Lösung gestatten.

In der Nordhälfte des sächsischen Granulitgebirges nimmt der Granulit weit häufiger als in dem südlichen Theil eine mehr körnige granitische Structur an und wird einzelnen Lagergraniten sehr ähnlich. Herr E. Danzig hat ganz besonders diesen Beziehungen seine Aufmerksamkeit geschenkt und kommt zu dem Schluss, dass einerseits keine scharfe Scheidung zwischen Granulit und Granit an vielen Orten möglich ist, sowie dass Gesteine, welche noch unzweifelhaft als Granulite angesprochen werden müssen, ganz in derselben Weise wie die im Hangenden des Granulitcomplexes auftretenden und zwischen Glimmerschiefern lagernden Granitgneisse den Charakter eruptiver Massen an sich tragen, also Einschlüsse führen und diese, sowie ihre Umgebung, imprägniren. Es hat sich somit meine Vermuthung, welche ich am Schlusse meiner Untersuchungen aussprach, nämlich dass der Granulit Sachsens ein durch den Dislocationsprocess in seiner Structur und Zusammensetzung beeinflusstes Granitmassiv sei, als richtig erwiesen.

Dieses von neuem bestätigte Resultat gibt mir Veranlassung auseinanderzusetzen, weshalb ich der Auffassung von E. Reyer, welcher dieser Gelehrte in seinem kürzlich erschienenen, anregenden Werke: „Theoretische Geologie," Ausdruck gegeben, nämlich, dass das Ineinandergreifen von granitischen Gesteinen und Schiefern auf vicarirenden Facies-Verhältnissen und Wechsellagerung beruhe, in diesem Falle nicht theilen kann.

Reyer hält das Granulitmassiv von Sachsen für „einen, von tuffogenen Sedimenten (Granulit) überkleideten granitischen Massenerguss, aus dessen Kuppe Granitgänge hervorbrechen, während man ringsum im Schiefermantel ‚Granitlager' (Flankenergüsse) eingeschaltet findet." Die Annahme, dass die Granulite Sachsens tuffogene Sedimente seien, erinnert an die Darstellung von O. Kuntze in seiner Phytogeogenesis, wonach die Granulite Niederschläge „chemischer" Wolken seien, und aus gasogen entstandenen „glühenden Mineralkrystallen" sich bildeten. Auf die Widerlegung derartiger haltloser Annahmen, welche sich nicht auf die Untersuchung der Granulite stützen, kann ich wohl füglich verzichten. Meiner Arbeit hätte Reyer auch entnehmen können, dass die Granulite Sachsens in ihrer

Hauptmasse durchaus nicht hoch metamorph sind, sondern sich nur wenig, zum Theil überhaupt nicht von der primären Structur granitischer Eruptivgesteine entfernen.

Davon aber abgesehen und nicht in Anschlag bringend, dass wir über die den Granulit in Sachsen unterlagernden Gesteine gar nichts wissen und auch nie etwas über dieselben werden in Erfahrung bringen können, so ist doch auch die weitere Vermuthung, dass die Wechsellagerung von Glimmerschiefern mit Granulit oder Granitgneissen auf einem successiven Absatz,—auf „ Flankenergüsse " und den Niederschlag von Sedimenten beruhe, nicht stichhaltig.

Die theoretischen Betrachtungen Reyers, deren Nützlichkeit ich gern anerkenne, und die auch in vielen Fällen sich durch Beobachtungen stützen lassen mögen, dürfen unser Urtheil doch nicht von vornherein beeinflussen. Zunächst muss doch wohl der factische Befund festgestellt werden, und da begegnen wir nicht den Structuren, Schlieren und plattenförmigen Absonderungen, welche die Bewegungsrichtung des Magmas kennzeichnen. Das Bild ist vielmehr ein ganz anderes. Der lagerartige Granit besitzt keine Zonen der Erstarrung, welche sich den begrenzenden Schiefern anschmiegen; vielmehr sehen wir eine ausserordentlich einheitliche, kaum hie und da etwas variirende Granitmasse gangförmig quer durch die Schiefer hindurchbrechen und in unmittelbaren Zusammenhang oder entfernter sich zwischen die Schiefer legen, dabei in beiden Fällen Bruchstücke der Schiefer in sich aufnehmend. Da wo der Granit gangförmig aufsetzt, liegen die Bruchstücke regellos; dort wo er ein Lager bildet, sind die flachen Schieferscherben und Schollen fast ausnahmslos einander, sowie dem Hangenden und Liegenden parallel geordnet, wie es weder halbverfestigte Magmen zu thun vermögen, welche auf ihnen zum Absatz gekommene Sedimente bei weiteren Bewegungen in sich einwickeln und überfliessen oder überdecken, noch wie es der Fall sein würde wenn flache Schiefertafeln in Tuffe eingeschwemmt würden, denn Bruchstücke sind es nun einmal, das ist durch Beobachtung genügend festgestellt. Den Ganggranit pflegen wir als jünger zu betrachten, als das Gestein, welches die Spalte bildet, in der er aufgestiegen, ohne dass wir damit bestreiten wollen, dass der Granit nicht bereits von Uranfang her im

Erdinnern ein verborgenes Dasein geführt habe und demnach eigentlich älter als der durchbrochene Schiefer ist. Obige Betrachtung ist aber einmal üblich und auch wohl nöthig, wenn wir uns nicht in ein Chaos verwickeln wollen.

Für den lagerartigen Granit ist nun nicht so ohneweiteres zu beweisen, dass er jünger als sein Hangendes sei. Eine aufmerksame Betrachtung zeigt jedoch, dass die scheinbar concordante Begrenzung gar nicht so durchaus concordant verläuft, dass ferner die anscheinend sedimentären Einlagerungen zuweilen deutlich quer abgebrochen sind und sich als losgerissene Schollen documentiren; endlich zeigt eine Reihe von Detailerscheinungen, dass überall da wo Stauchungen und Zerreissungen vorliegen, der Granit den Fugen gefolgt ist und die Schiefer imprägnirt. Wie weitgehend man eine solche Imprägnation annehmen kann, das ist Sache der persönlichen Erfahrung.

In den Granitgängen zeigen die Einschlüsse und die begrenzenden Schieferflächen genau dieselben Erscheinungen, nur dass hier nicht alles nach einer Richtung geordnet erscheint.

Mann müsste geradezu die Unmöglichkeit annehmen, dass Zerspaltungen bereits fertig gebildeter Schichten, oder Schiefersysteme, parallel ihrer Schichtung oder Schieferung erfolgen können, wenn man leugnen wollte, dass hier bei den lagerartigen Graniten ebenso eine Spaltenausfüllung vorliegt wie bei den querdurchsetzenden Graniten. Warum sollen bei einer so grossen Zahl von zum Theil ungeheuer mächtigen Granitgängen (bei Mittweida bis 1½ Kilometer), welche discordant aufsetzen, nicht auch Spalten von selten mehr als 400 Meter Mächtigkeit entstanden sein, welche concordant den Schicht- oder Schieferungsfugen folgten und sich mit Granit erfüllten? Selbstverständig waren dies keine Höhlungen, deren weitgespannte Gewölbe nur durch die Festigkeit der seitlichen Gesteinsmassen gestützt wurden; sondern in dem Maasse, in welchem sich die Schiefer von einander trennten und unter anderen Umständen eine wirkliche leere Spalte entstanden wäre, drang Granit ein und trug die hangenden Gesteinsmassen.

Dieser Vorgang der parallelen Zerspaltung und die innige Imprägnirung mit Eruptivmaterial, welcher sich in den

kleinsten Details mit grösster Klarheit verfolgen lässt, warum soll derselbe nicht auch grössere Dimensionen angenommen haben; Dimensionen die immerhin noch geringfügig gegen die discordant durchsetzenden Gangmassen zu nennen sind? Ich habe mehrere Aufschlüsse im sächsischen Granulitgebirge beschrieben, welche mir eine andere Auffassung nicht möglich machen. So lange diese Beschreibungen nicht als unrichtig in wesentlichen Theilen nachgewiesen worden sind, muss ich die Berechtigung, beliebige Annahmen über das sächsiche Granulitgebirge zu machen, bestreiten.

Kjerulf, Michel-Lévy und Andere haben in ganz ähnlicher Weise den Verband von Eruptivmassen geschildert. Michel-Lévy hat ganz neuerdings seine Ansichten in einer „Note sur l'origine des terrains cristallins primitifs“ und in einer „Note sur les roches éruptives et cristallines des montagnes du Lyonnais“ ausgesprochen. Seine Angabe, dass ich und ein Theil der deutschen Schule eine Wärmeentwickelung von der Faltung der Erdrinde ableite, ist, soweit sich dieselbe auf mich bezieht, wie ich nebenbei bemerken will, nicht richtig; ich habe im Gegentheil an Beispielen gezeigt, dass die Umsetzung von Bewegung in Wärme keine bemerkbaren Spuren hinterlassen hat. Ich bin mit diesem verdienstvollen französischen Forscher ganz derselben Meinung bezüglich der Herkunft der Wärme in der Erdrinde.

Das hauptsächlichste Erforderniss bei der Beurtheilung der krystallinischen Schiefer ist, den Boden der Thatsachen niemals ganz zu verlassen und auf die Ermittelung des Thatsächlichen eine ganz besondere Aufmerksamkeit zu verwenden. Prüft man darauf hin die Angaben mancher Autoren, so muss man erstaunen, mit welcher Bestimmtheit zuweilen Angaben gemacht werden, welche, obwohl von der grössten Bedeutung für die Auffassung der Gesteinsgenese, den Thatsachen absolut nicht entsprechen und bei einiger Objectivität hätten vermieden werden können. Schon früher hatte ich Gelegenheit das von Gümbel behauptete Fehlen von Thonschieferbruchstücken in dem Phyllitgneiss von Goldkronach im Fichtelgebirge, welche doch bereits von Cotta beschrieben, zu widerlegen, indem ich in wenigen Stunden die deutlichsten quergebrochenen und injicirten Einschlüsse sammeln konnte. Gümbel baute aber auf jenes Vorkommen weit-

gehende Schlüsse. Ob in einem Gestein Einschlüsse oder Concretionen vorkommen, ist doch für die Deutung derselben von der allergrössten Wichtigkeit!

Ganz analog verhält es sich mit einer Angabe welche durch J. Roth in die Wissenschaft eingeführt worden ist.

Bekanntlich haben die von Sauer als Conglomerate beschriebenen Gesteine von Ober-Mittweida im sächsischen Erzgebirge für die Beurtheilung der krystallinischen Schiefer eine ganz hervorragende Bedeutung gewonnen. Deshalb sah sich auch Roth veranlasst, jenes Vorkommen aufzusuchen, über welches er in den Sitzungsberichten der königlich-preussischen Akademie der Wissenschaften in Berlin im Jahre 1883 eine Mittheilung machte. Die geröllartig aussehenden Einschlüsse werden von Roth als Concretionen gedeutet, namentlich weil ihre Peripherie oft mit der umgebenden Gesteinsmasse verfliesst,— eine Erscheinung, welche allerdings zutrifft, jedoch wie das von mir und von Reusch (von letzterem an Conglomeraten von Bergen) nachgewiesen ist, durch die Pressungen, welchen jene Gesteine ausgesetzt waren, eine Erklärung findet. Roth spricht aber auch von „nicht seltenen" Glimmerlagen, welche innerhalb der Einschlüsse oder Concretionen den äusseren Glimmerhäuten parallel gehen sollen.

Es liegt auf der Hand, dass wenn in der That eine solche concentrische Structur, wie sie z. B. bei den Ausscheidungen des Granits von Fonni auf Sardinien vorkommt, vorhanden wäre, dies unsere Auffassung jener Massen als Gerölle widerlegen würde. Schon früher habe ich nach meiner Kenntniss des Vorkommens im Ober-Mittweida die Angabe Roths für sehr auffällig angesehen. Kürzlich habe ich jedoch das Beweisstück aus der Sammlung Roths gesehen und bin überrascht gewesen, wie wenig dasselbe jene Darstellung rechtfertigt. Es gehört wahrlich wenig Uebung dazu, um sofort zu erkennen, dass von einer Concretion gar keine Rede sein kann. Ein regelmässiges, rundliches etwa haselnussgrosses Gneissstückchen, dessen Gemengtheile mittlere Korngrösse besitzen und dessen Biotitflasern, unter sich nahezu parallel, quer gegen die äussere gebogene Grenzlinie verlaufen, wird etwa zur Hälfte des Umkreises von einer feinen, dunklen Glimmerhaut bekleidet. Auf die halbe

Erstreckung dieser Glimmerhaut legt sich an diese eine kaum ½ mm. dicke, helle, körnige Lage an, in deren Fortsetzung sich zwei breitere scherbenartige, helle Stückchen von 1—1¼ mm. Dicke etwas gekrümmt anschliessen. Eines der letzteren ist felsitisch-dichte Feldspathmasse, das andere feinkörniger Quarz. Es ist also zunächst gar keine geschlossene Zone ausserhalb der Glimmerlage vorhanden. Ferner lassen die lelzterwähnten Stückchen ihre selbstständige Natur erkennen und kommen in dieser Gestalt noch mehrfach in demselben Handstück vor. Auch von jener ersterwähnten dünnen Lage ist es nicht erwiesen, dass sie dem grösseren Stücke zugehört. Dabei ist aber die Stufe ungefähr parallel der Schichtung geschlagen und es ist jedem, der sich eingehender mit Gesteinsstructuren beschäftigt hat, bekannt, wie ungünstig solche Stücke für die Beurtheilung sind. Erwiesen ist aber an dem beim Durchschlagen im Gestein sitzengebliebenen Einschlussrest, dass sich die Glimmerlage nur auf höchstens den halben Umkreis der fraglichen Concretion anschliesst, ferner dass, wenn man die aussenliegenden hellen Theile als zugehörig betrachtet, die Glimmerlage nicht innerhalb der Concretion bleibt, sondern nach beiden Enden in die umgebende Gesteinsmasse übertritt. Der Kern des ganzen hat aber eine Structur, welche an und für sich schon gegen eine Concretion beweisend ist. Glimmerlinien, welche eine Strecke parallel der Umgrenzung der als wirkliche Gerölle aufzufassenden Einschlüsse verlaufen, sind aber allerdings nicht so überaus selten. Bei den beträchtlichen Deformationen, welchen diese alten geröllführenden Schichten ausgesetzt waren, sind einzelne zwiebelschalige, also streckenweise concentrisch verlaufende, oberflächliche Theile abgesprengt worden und in den Rissen hat sich Glimmer angesiedelt; eine auch von Sauer beobachtete Thatsache. Roths Darstellung ist also in einem wesentlichen und für die Beurtheilung der krystallinischen Schiefer wichtigen Punkte unrichtig.

Dass die dynamischen Vorgänge bei der Gebirgsbildung, mag man die letztere auf eine Ursache zurückführen, auf welche man wolle, nicht ohne Einfluss auf die Structur der bereits vorhandenen Gesteine, sondern auch auf die Ver-

breitung und die Art des Eindringens der Eruptivmassen von oft sehr bedeutendem Einfluss gewesen ist, das kann wohl gar nicht bestritten werden. Die Beobachtungen, welche ich von den Gabbros des sächsichen Granulitgebirges, von den bandstreifigen Granuliten, von den zu Glimmerschiefern metamorphosirten Conglomeraten des sächsischen Erzgebirges, von den Pfahlschiefern in Baiern mitgetheilt habe, sind nicht widerlegt worden, obwohl ihre Nachprüfung keineswegs mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft gewesen wäre. Meine Beschreibung habe ich in einer Weise gegeben, die ich mir *mehr* objectiv nicht vorstellen kann, indem ich diejenigen Stücke, welche mich zu meinen Anschauungen veranlassten, in reichlicher Zahl photographisch dargestellt habe, sodass jeder der mein Werk über die krystallinischen Schiefer studirt, gleichsam die Originale zur Hand hat.

Wenn ich nun bei dem weiteren Studium der aus krystallinischen Schiefern bestehenden Territorien einen Wunsch auszusprechen hätte, so wäre es der, sein Augenmerk darauf zu richten, dass metamorphosirte Sedimente, welche nach meinen Erfahrungen wohl zu wirklichen Glimmerschiefern verwandelt werden können, aber niemals echte, gleichmässig struirte Gneisse geworden sind, wenn wir unter den letzteren nur solche Gesteine verstehen, deren Gemengtheile authigen entstanden sind,—dass jene Dinge, soweit dies möglich, getrennt gehalten werden von den Glimmerschiefern, deren Ursprung wir nicht kennen, und getrennt gehalten werden von den echten granitischen Gneissen. Thut man dies nicht, dann ist der Fehlschluss unvermeidlich, dass Sedimente durch die Glimmerschiefer in Gneisse über gehen. Metamorphosirte, gneissartige Sedimente, in denen neben authigen gebildetem Quarz und Glimmer auch allothigene Elemente wie Feldspath auftritt und welche so vielfach meiner Ansicht nach fälschlich als Gneiss bezeichnet werden, sollte man als gneissartige Grauwacke oder als Gneissgrauwacke bezeichnen. Eine solche Scheidelinie muss meiner Ansicht nach gezogen werden, wenn wir über den Bau und die Entstehung eines Gebietes krystallinischer Schiefer und Massengesteine Aufschluss erhalten wollen. Zweifelhafte Schiefer sollten auch mit einer neutralen Farbe gekenn-

zeichnet und nicht zu den Gneissen geworfen werden. Die Bezeichnung Gneiss sagt nichts, so lange die verschiedensten krystallinischen und halb krystallinischen Schiefer darunter verstanden werden.

Gneisse sind meiner Meinung nach Granite mit verschiedenartiger Parallelstructur, die theils ursprünglich entstand, theils auf eine mehr oder minder intensive Druckwirkung während der Erstarrung oder auch nach völliger Verfestigung zurückzuführen ist; mögen wir ihre Entstehung nun für plutonisch oder eruptiv halten. Jedenfalls sind Gneisse und Granite Dinge, welche zusammengehören und die in Bezug auf ihre Entstehung zu trennen mir widerstrebt. Eruptive Granite und nicht eruptive Granite (Gneisse), eruptive Diorite und nicht eruptive Diorite, eruptive Gabbros und nicht eruptive Grabbos in gesonderten Gesteinsklassen und unter ganz verschiedenen Gesichtspunkten aufzuführen, will mir nicht als naturgemäss erscheinen. Plutonische Gesteine sind darum noch nicht verschieden von den entsprechend gleich zusammengesetzten Eruptivgesteinen, weil sie den Ort ihrer Entstehung nicht verlassen haben.

Wie nun die erste Enstehung der plutonischen Gesteine zu denken ist,— ob als Erstarrungskruste der Erdrinde, oder als durch Einschmelzung oder Diagenese von Sedimenten hervorgegangen, aus denen dann folgerichtig auch die Eruptivgesteine theilweise abgeleitet werden müssten, das scheinen mir Fragen zu sein, deren Beantwortung zur Zeit weniger dringlich ist, und werden wir mit Sicherheit wohl nie diese Fragen lösen!

SUR L'ORIGINE DES TERRAINS CRISTALLINS PRIMITIFS *

Par

M. A. Michel Lévy.

La course récente de la Société géologique en Bretagne et les belles études de M. Barrois sur les phénomènes métamorphiques de contact qu'il a observés dans cette région, ont rappelé l'attention sur l'origine des gneiss et, d'une façon plus générale, sur celle des roches de terrain primitif que mon ami M. de Lapparent appelle à juste titre des hiéroglyphes pétrographiques.

Il me paraît utile de résumer les quelques notions que nous possédons à ce sujet, et d'émettre au moins un doute sur l'opinion généralement admise que les roches primitives se sont formées par cristallisation *immédiate* de leurs éléments.

Deux ordres de considérations permettent d'aborder cette question difficile : les considérations stratigraphiques, la structure intime d'association des minéraux composants.

1°. Considérations stratigraphiques.

La grande masse des terrains cristallins primitifs se présente constamment sous les premiers dépôts franchement détritiques. Elle leur sert de soubassement, avec cette particularité que sa schistosité est le plus souvent parallèle aux strates de ceux de ces dépôts qui apparaissent les premiers.

Quoique principalement composé de gneiss acides, le terrain primitif présente de nombreuses variations de composition chimique et minéralogique ; il admet des représen-

* Extrait du Bull. Soc. Géol. France, 3e série, t. xvi, p. 102, 1888.

tants très basiques tels que les amphibolites, les pyroxénites, les péridotites, les cipolins et les dolomies, la cryolite, les roches à axinite et celles à wernérite.

Ces intercalations sont toujours parallèles à la schistosité ; elles affectent la forme d'amandes allongées, dont le plus grand axe est dans la direction du rubanement général.

La quantité respective des représentants acides et basiques de la série est extrêmement variable ; dans la Serrania de Ronda, les dolomies, intercalées dans les gneiss, dominent ; elles constituent des chaînes de montagnes entières. On connaît l'énorme puissance des amphibolites dans certaines régions des Alpes. Plus clair-semées, mais encore très abondantes dans le Plateau Central et de Lyonnais, les roches basiques deviennent exceptionnelles dans le Morvan et la Bretagne.

Cependant, l'homogénéité relative de composition du terrain primitif ressort de la comparaison des coupes établies, non seulement en Europe, mais aux Etats-Unis et par tout le globe. Les gneiss acides et de plus en plus cristallins dominent à la base ; puis ils admettent des intercalations fréquentes de micaschistes et de leptynites auxquels s'associent de nombreux délits d'amphibolite et de cipolin. Au-dessus de ce premier ensemble, se développent des micaschistes chloriteux et sériciteux, alternant parfois avec de nouvelles strates amphiboliques. Ce deuxième étage est surmonté par une série comprenant aussi des schistes amphiboliques et pyroxéniques (cornes vertes), mais en outre présentant les premières couches franchement détritiques.

Il suffit de chercher à tracer sur une carte détaillée des limites précises entre ces différents étages, dans une région déterminée, pour constater qu'à tous les niveaux il y a passage graduel d'un étage au suivant. Les premiers dépôts détritiques alternent avec des strates encore puissantes de schistes séricíteux et chloriteux entièrement cristallins, et en plein Cambrien, on voit se développer, par intrusion du granite ou de la granulite, de larges bandes de schistes feldspathisés qu'un examen microscopique minutieux permet à peine de distinguer des gneiss plus anciens.

De même, les cornes vertes sont souvent accompagnées de schistes amphiboliques fort analogues aux amphibolites des

gneiss et, cependant, leur situation au milieu de couches détritiques ne présente aucun sujet de doute.

J'ai, le premier, appelé l'attention sur le phénomène de pénétration intime, lit par lit, des roches granitiques et granulitiques éruptives suivant les plans de schistosité des gneiss et des schistes. De nombreuses observations ont confirmé le mécanisme d'apport d'un élément éruptif au sein de schistes déjà modifiés par simple métamorphisme, et ont précisé sa portée très générale.

Ainsi, en résumé, le terrain primitif sert de soubassement aux premières couches détritiques franches ; sa schistosité est généralement favorable à leurs strates, auxquelles il passe par gradations insensibles. Il présente une certaine homogénéité générale et ses accidents de composition sont toujours parallèles à la direction de la schistosité.

Enfin, il se laisse intimement injecter et pénétrer par les roches éruptives les plus anciennes, et il partage encore cette propriété avec les premiers schistes détritiques francs.

On a signalé à plusieurs reprises des conglomérats et même des galets roulés (?) dans un magma gneissique. M. Potier a trouvé des fragments arrondis de gneiss gris à grain fin dans le gneiss granulitique de Cannes. M. Munier-Chalmas a rencontré des fragments analogues de mica-schiste dans le gneiss granitique de l'Ardèche.

Aux environs d'Arvant, ce sont des débris de serpentine que le gneiss englobe (Dorlhac). M. Fouqué a fait une observation analogue près de la Voûte Chilhac et à Saint-Tropez (Var).

Enfin, en Suède, et dans l'Erzgebirge, on trouve des conglomérats gneissiques dans les phyllades et les chloritoschistes qui surmontent les gneiss proprement dits.

Comme le fait justement remarquer M. de Lapparent, ces deux derniers exemples ne prouvent que l'origine déjà détritique des phyllades en question, qui, dans la Manche, contiennent en outre des fragments de granite éruptif.

Quant aux autres exemples, nos propres observations nous induisent à les rapprocher des englobements, par le granite ou la granulite franchement éruptifs, de boules souvent très arrondies des roches encaissantes.

Nous avons eu l'occasion de montrer à la Société géolo-

gique, aux environs de Chausserose, un granite éruptif empâtant des centaines de fragments arrondis de gneiss. Bien que fortement feldspathisés par le granite dont les grands cristaux d'orthose se sont développés en pleine roche gneissique, ces fragments conservent une surface lisse et se séparent facilement de la roche encaissante.

Or, dans les nombreux cas où il nous a été donné de constater des englobements de gneiss dans d'autres gneiss, nous avons toujours pu constater que la roche encaissante est beaucoup plus feldspathique que les fragments englobés. Elle est en géneral injectée de granite ou de granulite et a été complètement remise en mouvement par les roches éruptives.

Nous reconnaissons donc, avec M. de Lapparent, que cet argument ne peut être invoqué à l'appui de l'origine détritique des gneiss proprement dits.

2°. Structure d'association des minéraux composants.

La composition minéralogique des gneiss et des roches basiques schisteuses qui leur sont associées, appelle deux observations générales: elle est presque identique à celle des roches grenues éruptives, et tous les types de roches éruptives anciennes ont, pour ainsi dire, leur pendant dans la série schisteuse.

Il y a donc eu grande analogie dans le milieu et dans les forces naturelles qui ont présidé à la genèse des unes et des autres.

Cependant quelques associations minéralogiques anormales proviennent, dans la série schisteuse, du défaut de brassage préalable du magma, de la consolidation très successive des divers éléments, enfin de l'apport intermittent d'éléments chimiques nouveaux venus: ainsi le quartz se montre associé, dans les amph[illegible]ites et dans les pyroxénites, à la hornblende, [illegible] à l'anorthite. Les silicates d'alumine [illegible]ents alcalins et leur brassage n'a pas t[illegible]ce à des silico-aluminates, etc.

La [illegible]ure d'as[illegible]ciation est plus caractéristique; on peut vacnaer, d'une fa[illegible]on générale, que les roches éruptives

anciennes sont rigoureusement homogènes, sur de vastes espaces ; un fragment de ces roches est comparable à un autre fragment, abstraction faite de toute orientation. L'homogénéité se retrouve dans la série schisteuse ; mais elle est pour ainsi dire périodique et en outre elle exige, pour la comparaison, l'orientation des fragments pris à distance.

Dans les gneiss acides, le mica noir se présente en feuillets entrelacés, souvent d'apparence continue, et les lamelles de mica offrent rarement les contours cristallins extérieurs du mica similaire des granites. De plus, ces feuillets de mica noir se sont moulés sur une première poussée cristalline composée de très petits grains de feldspath et surtout de quartz, tandis que la biotite des granites compte parmi les éléments de consolidation la plus ancienne.

Les feuillets micacés des gneiss sont d'ailleurs nettement disloqués par des traînées de quartz et de feldspath à plus gros éléments. Enfin, parfois le mica blanc, la tourmaline, la sillimanite, de gros nodules d'albite et de microcline (constituant visiblement une injection de granulite éruptive) empâtent et traversent les éléments précédents.

On voit que, prise dans sa plus grande complexité, la structure des gneiss présente une série de poussées cristallines successives, accompagnées de phénomènes mécaniques de cimentation des éléments disloqués.

Les uns ont voulu voir, dans une partie de ces phénomènes, des exsudations dues aux effets mécaniques subis ; nous préférons y chercher les traces multiples d'une série d'actions métamorphiques sans apport, puis d'injections avec apport d'éléments étrangers, sans d'ailleurs nier l'intervention des actions secondaires d'origine mécanique. Mais quel que soit le mode d'explication théorique adopté, les faits sont désormais bien établis et paraissent en tout ces inconciliables avec un brassage préalable du magma des roches schisteuses, et aussi avec l'hypothèse d'une production primordiale sous la forme actuelle et définitive.

Dans les roches basiques schisteuses, l'amphibole et le pyroxène jouent le rôle du mica noir des gneiss. Ils ont formé un réseau primitivement continu, disloqué et parfois émietté par les poussées feldspathiques suivantes, mais englobant des éléments de même nature plus anciens.

Ainsi, en résumé, il y a eu production de feuillets de membranes cristallines formant le ciment des roches schisteuses; puis dislocations successives par injections généralement parallèles à la schistosité.

Or, si nous étudions le mécanisme, maintenant bien connu, du métamorphisme de contact produit par le granite et la granulite sur les schistes et grès franchement sédimentaires, nous retrouvons une série de phénomènes tout à fait analogues, avec cette particularité qu'en étudiant des zones à des distances variables du contact éruptif, on isole successivement les divers stades de la modification.

M. Rosenbusch, dans une magistrale étude sur les Steiger-Schiefer, a cru pouvoir conclure que les feldspaths ne prennent pas naissance en pareil cas; mais j'ai prouvé qu'il y avait des contacts où l'intrusion des éléments éruptifs, lit par lit, amenait l'élément feldspathique, et les études de M. Barrois ont confirmé ce fait.

D'ailleurs le développement, par voie purement métamorphique, de l'orthose et de l'albite est plus fréquent qu'on n'était porté à le soupçonner; M. Lory vient de constater la présence de cristaux microscopiques d'orthose et d'albite dans la plupart des couches triasiques et jurassiques marneuses des environs de Grenoble.

A l'état non modifié, les schistes et grès détritiques des terrains primaires sont composés de débris clastiques de quartz, de feldspath et de mica, cimentés par un lien argileux et siliceux. Le plus souvent, le quartz est seul abondant; le feldspath et le mica ont subi une décomposition plus ou moins complète. Un premier stade de modification développe, aux dépens du ciment la chlorite et la séricite en très petites écailles et fibres cristallines.

A un degré plus avancé, les débris de quartz s'arrondissent et se nourrissent, en même temps que la séricite et la chlorite font place à des feuillets de mica noir entrelace, qui cimente les grains de quartz déjà arrondis. On assiste littéralement à la production du mica noir, parfois englobé à l'état naissant dans les zones d'accroissement successif du quartz.

Les feuillets micacés sont parallèles aux strates primitives, qui constituent évidemment des plans de moindre résistance.

Souvent les stades de modification métamorphique se terminent par le développement glanduleux de silicates d'alumine (andalousite, staurotide), de cordiérite, de chloritoïdes.

Mais en outre, dans les zones de contact immédiat sur la roche éruptive, le quartz et les feldspaths s'insinuent, lit par lit, entre les feuillets des schistes micacés ; on est parti d'un schiste argileux détritique, on le trouve en définitive transformé en un gneiss récent, bien difficile à distinguer des gneiss anciens.

Les quartzites, donnent dans ce cas, de véritables leptynites, les schistes dolomitiques des cornes vertes passant à de vraies amphibolites.

Il ne faut pas se réprésenter ces intéressantes modifications comme toujours limitées à des zones étroites et d'étendue insignifiante. La granitisation, la granulitisation des schistes s'observent parfois sur des kilomètres carrés ; on peut citer à ce point de vue la bande orientale de gneiss récents du Beaujolais, les schistes granitisés des environs de l'Arbresle (Lyonnais), le faisceau de schistes ardoisiers granulitiques de Douzenac, etc.

Il faut d'ailleurs ne retenir de ce qui précède que ce seul fait patent, prouvé par les études micrographiques : la structure intime du gneiss est identique à celle des schistes sédimentaires, modifiés par métamorphisme de contact, puis injectés par des roches éruptives.

Les études microscopiques ont permis d'aborder l'étude des fines inclusions liquides que contient le quartz des gneiss. MM. Zirkel et Kalkowsky ont fait l'intéressante observation que les files d'inclusions liquides sont limitées à la partie centrale et ne se prolongent pas jusqu'à la périphérie des grains de quartz, et M. de Lapparent y voit la preuve qu'ils n'ont pas été arrachés à une roche préexistante. Mais cette preuve tombe devant le fait que le quartz des schistes micacés cambriens, d'origine évidemment détritique, présente exactement le même phénomène, dont l'explication est d'ailleurs des plus simples.

Ces grains de quartz, primitivement clastiques, ont été remis en mouvement, lors des phénomènes métamorphiques consécutifs aux éruptions granitiques. Ils se sont nourris et

entourés de quartz secondaire qui tend même à leur donner des formes extérieures cristallines. Ce quartz secondaire est pauvre en inclusions liquides; par contre dans les schistes micacés comme dans les gneiss, il englobe des cristaux naissants de mica noir et en général de tous les minéraux voisins.

Rien même ne prouve mieux la lente élaboration des roches métamorphiques en question, et à ce point de vue, l'observation de MM. Benecke et Cohen, également citée par M. de Lapparent, est tout à fait justifiée : Ce quartz a dû se former en place, *tel qu'on l'observe aujourd'hui.* Il faut seulement restreindre l'application de cette formule à une partie du quartz, et se pénétrer de ce fait d'observation que tout ce qu'on peut en dire s'applique également dans les plus intimes détails aux schistes cambriens et même siluriens métamorphiques.

Considérations générales et hypothèses sur l'origine des terrains primitifs.

Parmi les hypothèses invoquées pour expliquer l'origine des gneiss, il nous faut maintenant discuter les deux explications les plus généralement adoptées; on les considère comme s'étant produits dans un état voisin de leur état actuel; ils seraient contemporains des premières précipitations aqueuses sur la surface encore brûlante du globe et se seraient formés par cristallisation immédiate de leurs éléments.

Ici il nous faut distinguer deux explications en apparence différentes; l'une, un peu abandonnée, mais qui a le mérite d'une parfaite clarté, fait des gneiss le résultat d'une sorte de conflit entre l'eau et le magma fondu du globe. Ce seraient les premières écumes de consolidation de l'écorce terrestre.

L'autre explication, plus vague, reconnaît aux gneiss une origine sédimentaire. Mais les sédiments se seraient produits tout cristallisés et tout agencés en structure gneissique. Ce seraient donc des dépôts d'une sorte d'eau mère sursaturée, abandonnant successivement dans son fond les innombrables bandes cristallines dont se composent les gneiss. Remarquons immédiatement que cette seconde explication suppose un fond, un substratum inconnu.

1° Les géologues avaient d'abord supposé que le premier substratum était composé par les granites que nous voyons affleurer sur de si vastes étendues. Les études de détail, poursuivies depuis le commencement du siècle, ont infirmé cette supposition. Partout les granites ont été reconnus plus récents que les gneiss qu'ils traversent, injectent et disloquent ; les plus anciens sont même postérieurs à une partie au moins des premiers schistes détritiques ; Grüner a insisté sur ce fait général, qui a reçu, depuis lors, maintes confirmations.

C'est donc aux gneiss, franchement rubanés, alternant parfois, dans leurs couches les plus profondes, avec des micaschistes pauvres en feldspath, qu'il faudrait attribuer cette origine mixte, ce rôle d'écumes primordiales.

Mais une question préalable s'impose ; pouvons-nous nous flatter d'observer, même dans les régions les plus bouleversées par les soulèvements de montagnes, le réel substratum de l'écorce terrestre ? N'y-a-t-il pas lieu de penser qu'il a été maintes fois refondu ou tout au moins remanié ?

Cordier suppose que le refroidissement terrestre a constamment tendu à augmenter, par consolidation de haut en bas, l'épaisseur de la première croûte solide. Celle-ci aurait donc subsisté et c'est bien elle qui constituerait le terrain justement nommé primitif. Si l'on pouvait descendre sous lui, on rencontrerait des roches de plus en plus basiques, pour arriver à cette scorie universelle analogue à la lherzolite, précédant de bien peu le noyau de fer impur encore incandescent de notre globe.

Une première objection stratigraphique se présente à l'esprit ; pourquoi les plissements qui nous offrent complaisamment des coupes si variées et si nombreuses des terrains primitifs, n'ont-ils jamais mis à jour les roches plus basiques consolidées *per descensum ?* L'étude approfondie des massifs de lherzolite les montre éruptifs et postérieurs à ces mêmes terrains primitifs ; et si l'on ne considère que l'ensemble des roches basiques schisteuses telle que les péridotites, on les trouve intercalées assez haut dans la série gneissique. Ainsi l'observation n'a pas confirmé l'hypothèse de Cordier, et cette hypothèse ne peut être invoquée pour arguer de la conservation du substratum primitif.

Au point de vue purement spéculatif, il est invraisem-

blable que les premières écumes de consolidation n'aient pas subi un brassage énergique, rendant la roche homogène et excluant toute production de ces membranes micacées si nombreuses et si régulières dont nous avons fait le trait distinctif des terrains primitifs. Si ces écumes étaient acides, comme il y a lieu de le penser, le premier substratum a dû être constitué par un granite massif et homogène.

C'est sur un écran réfractaire de cette espèce que la précipitation des eaux atmosphériques a dû préparer les éléments des premières roches détritiques, des premières arkoses.

Or, ce substratum, nous ne l'avons jamais touché, et il est probable que nous ne le joindrons jamais; car il a dû être maintes fois remanié et soumis à des modifications chimiques. Il faut en effet tenir compte de la diminution du rayon terrestre à ces époques reculées, de la contraction correspondante, et des plissements, consécutifs qui ont dû augmenter l'épaisseur de la première croûte solide et par suite faciliter la dissolution de sa partie inférieure. Il faut surtout mettre en cause la masse énorme des produits éruptifs *per ascensum*, entraînant par contrecoup la transformation d'une quantité analogue de roches déjà solidifiées. Notons ici que le développement des minéraux des roches granitiques et gneissiques n'exige pas une très haute température; c'est au-dessous du rouge sombre, que MM. Friedel et Sarrasin ont obtenu l'orthose, l'albite et le quartz en présence de l'eau sous pression. Dans ses expériences actuellement en cours, c'est à peu près à cette température que M. Hautefeuille produit le mica noir et le mica blanc.

2° La seconde explication, la cristallisation successive en eaux mères des bandes de gneiss, se heurte à des difficultés aussi caractérisées. Elle ne nous paraît pas conciliable avec la structure même des roches gneissiques, composées de poussées cristallines successives se disloquant entre elles. Les membranes primitivement continues de mica ou d'amphibole, l'état presque filonien de la majeure partie du quartz et des feldspaths nous semblent peu en rapport avec les dépôts pour ainsi dire concrétionnés que suppose cette hypothèse, si l'on admet une tranquillité absolue du bain sursaturé.

Si, au contraire, on suppose, comme possible, une agitation

au moins locale, que rendent bien vraisemblable les hautes températures en action et leur répartition inégale, l'homogénéité périodique si remarquable des gneiss devient inexplicable, tout au moins si l'on considère les vastes étendues sur lesquelles on peut la constater.

C'est surtout la genèse des membranes de mica qui est difficile à expliquer dans cette hypothèse; il faut supposer une précipitation discontinue de ce minéral, mais à périodicité très rapprochée, puisque les gneiss contiennent souvent un grand nombre de membranes parallèles dans une épaisseur de un centimètre.

MM. Kalkowsky et de Lapparent se tiennent en garde contre les comparaisons et les analogies; ils rappellent à juste titre que la nature peut employer plusieurs moyens pour atteindre un résultat en apparence identique. Mais lorsque les analogies constatées ont trait à des roches dont on ne peut nier la connexité et telles que les gneiss et les premiers schistes détritiques francs qui reposent sur eux, lorsque ces analogies se poursuivent jusque dans les détails microscopiques, l'hypothèse d'une origine commune devient vraisemblable. On ne pourrait la combattre efficacement qu'en lui opposant des faits et des arguments de nature positive; on a vu plus haut que tel ne nous paraît pas le cas.

De tout cet ensemble de faits et d'hypothèses se dégage donc, pour nous, l'idée que nous n'avons pas sous les yeux le véritable et primitif substratum de l'écorce terrestre; que ce substratum a été maintes fois remanié; enfin que le terrain, dit primitif, est un produit complexe de roches éruptives postérieures aux gneiss et de terrains réellement détritiques et profondément métamorphisés.

Nous devons ajouter que l'étude paléontologique des premiers terrains fossilifères concorde avec cette hypothèse; le degré relatif de perfectionnement des organismes suppose une longue évolution préalable dont les degrés intermédiaires auraient été effacés par le métamorphisme.

Il nous reste à insister sur le caractère propre aux roches éruptives homogènes qui injectent le terrain primitif. Aucune d'entre elles ne paraît antérieure au terrain cambrien; mais, à partir de la fin de cette période, elles se sont produites

avec une extraordinaire abondance ; granites, diabases et diorites, norites et lherzolites injectent et bouleversent les formations sous-jacentes.

Un premier fait ressort de l'examen de cette antique série de roches homogènes et compactes : les forces cristallines y sont à leur apogée ; les roches à structure microlithique ou même témoignant simplement de deux temps de consolidation nettement distincts n'y existent qu'exceptionnellement. En outre, rien n'est plus rare, dans les plus anciens termes de cette série, que les filons minces analogues à ceux par lesquels se sont épanchées les roches éruptives et volcaniques plus récentes.

Les coulées manquent également et le mode de gisement se réduit aux dykes et aux massifs d'intrusion, tantôt irréguliers, tantôt grossièrement interstratifiés. Ces roches n'ont visiblement pas atteint la surface du sol contemporain.

C'est aux abords et surtout au-dessous de ces massifs que le métamorphisme des roches encaissantes présente son maximum de développement. Du reste, les phénomènes d'influence sont ici réciproques, et la roche encaissante a réagi le plus souvent sur la roche éruptive ; au contact du Cambrien basique bouleversé, disloqué, métamorphosé et injecté, les granites du Plateau central et du Beaujolais se chargent de débris d'amphibole, et certains auteurs ont été jusqu'à transformer en puissants dykes de syénite le granite à amphibole, simplement modifié par action endomorphe. Les granulites, à la traversée des amphibolites, se chargent d'andésine et de sphène, etc. M. Fouqué a signalé un bel exemple de ce genre d'actions réciproques à Molompise (Cantal).

Ce fait est tellement général, qu'étant donnée une région de terrain primitif, on peut, pour ainsi dire, prévoir la nature des massifs éruptifs qui l'accompagnent et le disloquent. Dans la Serrania de Ronda, les masses immenses de dolomies, intercalées dans les gneiss, sont en relation de position avec les montagnes de norite et de lherzolite éruptive, cependant bien postérieures, car elles ont bouleversé le Cambrien.

Les cornes vertes du Plateau central sont en corrélation avec des couches de schistes calcarifères et de marbres, et, d'autre part, elles sont fréquemment accompagnées d'érup-

tions grossièrement interstratifiées de diabases et de diorites.

Comme les mouvements de translation de toutes ces anciennes roches éruptives sont évidents, qu'elles ont disloqué, brisé et empâté les terrains encaissants, on ne peut admettre qu'elles soient nées sur place et par une lente élaboration ; mais elles y ont tout au moins puisé une notable partie de leurs éléments ; car elles sont arrivées avec un excès de dissolvants et de minéralisateurs ; il est vraisemblable que les zones de métamorphisme intense et étendu sont assez voisines de celles où la remise en mouvement totale de tous les éléments permet aux roches éruptives homogènes de se preparer, avant d'opérer leur ascension dans les cassures de l'écorce terrestre. Quelles sont les causes probables de cette élaboration ? M. Lehmann et à sa suite une partie de l'École allemande la recherchent dans une transformation partielle en chaleur du travail mécanique dépensé pendant les périodes de plissement intense de l'écorce terrestre. Nous y cherchons plus simplement une des manifestations de la chaleur interne du globe, les grands mouvements subis par l'écorce terrestre ayant eu principalement pour effet, d'une part, de produire l'ascension et l'injection des magmas éruptifs ; d'autre part, de renouveler les matériaux aux dépens desquels ils s'élaborent en profondeur.

Il est inutile d'insister sur les analogies et les différences de nos conclusions avec celles que Delesse a développées dans ses études sur le métamorphisme des roches ; les investigations micrographiques ont surtout permis de préciser le mécanisme de production du métamorphisme de contact ; elles ont aussi singulièrement étendu la zone d'influence que l'on doit attribuer aux massifs éruptifs dont les injections mécaniques se ramifient à si grande distance ; en un mot, elles attribuent au métamorphisme de contact et de pénétration une importance que Delesse avait surtout attribuée au métamorphisme général.

THE ARCHÆAN GEOLOGY OF THE REGION NORTH-WEST OF LAKE SUPERIOR.

By

ANDREW C. LAWSON, M.A., PH.D., GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA.

The Archæan of the region north-west of Lake Superior is separable, primarily, into two distinct assemblages of rocks, which, in this paper will be referred to as Upper and Lower Archæan.

The lower division comprises that portion which is ordinarily called Laurentian, being composed exclusively, so far as yet known, of rocks which are identical in all essential particulars with the various gneisses collected from well known Canadian Laurentian areas.* The term Laurentian is, therefore, adopted for it, subject to the qualifications set forth in a former paper.†

The upper division is made up of at least two series, of distinct petrographical characters, with a marked break between them. These comprise a large part of those rocks which have hitherto been called Huronian; which term can be applied to them only in the sense that Huronian embraces all geological formations between the Cambrian and the Laurentian, since there are grave doubts as to the equivalence of the rocks here considered with the Huronian as a specific geological series. The two series which compose the Upper Archæan in this region are called the Coutchiching and Keewatin series, names which are employed provisionally, so as to avoid, for the present, the question of the correlation of either series with the Huronian of Lake Huron, or with any part of it.

* The counties of Ottawa, Terrebonne, Argenteuil, Two Mountains, the north shore of the St. Lawrence, &c.

† Am. Jour. Sci., vol. xxxiii., June, 1887, pp. 475, 476.

It is the purpose of the writer to state the character of the rocks composing these different portions of the Archæan, to point out the relations which exist between them, and to discuss, so far as is possible in the space allowed, the geological meaning of the more salient facts observed, having special reference to their bearing on the origin of the crystalline schists which form so large a part of this portion of the earth's crust. No attempt will be made to elucidate from a petrographical standpoint the immediate process of formation of the schists; but the broader geological considerations arising from *extended* field studies cannot be set aside, even by the brilliant work that is being done by microscopic petrography for geological science; and some of these considerations will here find a chief place. This line of discussion is adopted because the field with which the writer is familiar presents very exceptional facilities in the way of extensive exposure for the study of this class of rocks; and he is persuaded that a statement of the main *facts* of the geology of that field, accompanied by an interpretation of the same consistent with our present knowledge, is the best way in which he can contribute to our further knowledge of their origin.

General Petrographical Characters.

Laurentian.—The rocks of the Laurentian of this region may be grouped broadly under the following heads:—

I. (*a.*) Hornblende-syenite and hornblende-granite-gneiss.*
(*b.*) Mica-syenite-gneiss, and biotite-granite-gneiss, poor in quartz.
II. Biotite-granite-gneiss (very quartzose, and usually simply referred to as biotite-gneiss).†

* Plagioclase is abundant in these rocks, as well as orthoclase.

† The nomenclature used is practically that of Rosenbusch for the massive rocks. Usage in America favours "hornblende-granite" rather than "amphibole-granite," of Rosenbusch; and the term "granite," rather than "granitite," when biotite is the only mica present. The term "gneiss," it will be observed, is here used independently of mineralogical composition, and is descriptive simply of the foliated structure.

This classification is geological, and not merely petrographical, and although the character of the rocks has been determined by microscopical study, they are grouped as above because of their affinities and distinctions in the field. Thus the hornblende-syenite and hornblende-granite-gneisses cannot, as a rule, be regarded as other than facies of the same geological formation. The mica-syenite-gneiss, and gneisses poor in quartz, are much more intimately associated with the hornblende-syenite than with the regular quartzose biotite-gneisses. The latter usually present a sharp distinction in the field from the quartzless rocks, and seem to constitute distinct geological formations, presenting interesting relations in space, in some instances, to the syenite formations, which will be mentioned particularly farther on.

All degrees of foliation occur in these rocks, from that of banded gneisses, through ordinary foliated varieties, to rocks in which the foliation is faint; and with the latter are associated as local facies of the same geological mass, rocks which cannot be called gneisses, but are simply granites or syenites devoid of foliation. The hornblende-granites and syenites are, as a rule, the least distinctly foliated, and the biotite granites the most so, the latter being those in which a banded structure is often seen to occur.

A detailed statement of the micro-petrographical characters of these rocks need not be given. It will suffice to say that a study of many sections from different parts of the field, particularly about Rainy Lake, has shown that they are normal foliated granites and syenites. The structure* is usually eminently granular,† though not infrequently granular-porphyritic, the latter being the rule in the mica-syenite, or in the allied granite-gneiss poor in quartz. In texture none are very fine grained. The biotite-gneiss is usually medium grained, and the syenite-gneiss coarse grained. The colour is prevailingly light grey, although

* The writer has not followed Teall (British Petrography, p. 51), in his proposal to substitute the term "texture" for "structure" as established by German, French, and American usage. The term texture is perhaps better used as equivalent of degree of fineness or coarseness, as "fine texture," "coarse texture," &c.

† In the sense defined by Rosenbusch.

reddish tints are of frequent occurrence. A point of general interest that was noted in the hornblende-granite and syenite-gneiss is that the hornblendes contained cores of pyroxene so frequently as to suggest that much, or all, of the hornblende in these rocks is secondarily derived from that mineral. In the quartzose rocks fluid-inclusions are abundant, and in the feldspars of all these rocks inclusions similar to those described by Judd,* as due to Schillerization, are not uncommon.

It will of course be understood that although these rocks are classed as syenites and granites, it is rare to find a section free from plagioclase; and by a predominance of the latter mineral the syenites pass locally into diorites, or where augite is abundant with the hornblende, into gabbro.

There is very meagre evidence of pressure-deformation in these rocks, compared with that observed in the rocks of the Keewatin series; and certainly there is not sufficient, in the opinion of the writer, to permit of our referring the origin of the foliation of the gneiss to pressure acting on the rock after it had solidified. This point will be dwelt on briefly in the sequel.

Coutchiching.—This is an eminently stratiform series of mica-schists and fine-grained, gray, evenly-bedded gneisses, or, perhaps better, feldspathic mica-schists. The series intervenes in great volume between the Laurentian and Keewatin on Rainy Lake, Nemeukan Lake, and Nequaquon Lake, on the International Boundary. The stratigraphy on Rainy Lake is simple, and the bedding distinct. The uniformity of the petrographical characters of the strata throughout the entire series is one of its most striking features. No other rocks than those mentioned have been observed in a thickness which, as a result of careful field study, is estimated at between four and five miles. All the schists of the series are excessively quartzose. Metamorphic minerals, such as garnet and staurolite, are abundant. The former are generally disseminated, but the latter are found chiefly at the contact of the schists with the Laurentian gneiss.

In many places the partings between the beds have

* On the Tertiary and Older Peridotites of Scotland, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. 41, p. 354; 1885.

served as fissures for the deposition of vein quartz. This vein-quartz is very abundant in lenses or lens-like sheets, and is clearly a secondary product in the rock. Though not as yet known to be auriferous, these quartz deposits appear to be quite analogous to the "bedded lodes" and "intercalated lodes" in the Cambrian Rocks of Nova Scotia, the secondary origin of which has been pointed out by Dr. Selwyn.* They afford the strongest evidence of the copious percolation of aqueous solutions, and these solutions, it would seem, must have bathed the rock through and through, and have given rise to a large amount of the quartz and feldspar in the rock proper.

Hornblende is extremely rare in the Coutchiching series, and has only been observed in one instance. A microscopic study of the rocks has led the writer to the same conclusion, as to their origin, as that to which he was forced by a study of their field aspects, viz.: that they are metammorphosed sediments. The strata appear to have been laid down in a period of extreme quiescence. There are no intercalations of volcanic rocks. Neither limestone, nor pure quartzite, nor conglomerates have been observed. If their sedimentary origin be assumed, the material for the strata must have been derived from the erosion of a preexisting surface, probably of granitic character. The microscopic structure of the rocks bears out this view; since at the top of the series some of the strata appear to to be little more than micaceous quartzites, and generally throughout the series the structure of the mica-schists and of their feldspathic varieties, which would be termed gneiss, is quite different from that of the Laurentian rocks, being granulitic† rather than granular.

Keewatin.—The Keewatin series, like the Coutchiching, is a thick accumulation of bedded rocks. It has a much more extensive areal distribution than the Coutchiching, and both in the general aspect of the rocks composing it, and in their essential characters, it presents a marked contrast to

* Geol. Survey of Canada, Report Progress, 1870-71, pp. 258-260.

† In the sense of the French authors, that the rock is composed of grains of comparatively uniform size, of more or less rounded outline, as in quartzites: but not implying that the rock is of igneous origin.

either the Coutchiching or Laurentian. In many parts of Rainy Lake a detailed study* of the stratigraphy shows beyond doubt that the series rests upon the Coutchiching, while farther north this intervening series is wanting, and the Keewatin is in direct contact with the Laurentian, as on the Lake of the Woods.† The bedded arrangement of the rocks is not always so well defined as in the Coutchiching series.

The strata for the most part appear to be of the character of overlapping lenticular sheets; and with the schists there are frequently intercalated thick portions of massive rocks which render the bedding obscure. The contrast with the Coutchiching rocks is chiefly due to the fact that the latter is a very acid series, while the Keewatin is very largely made up of altered volcanic rocks, with some associated rocks of doubtful origin, and a subordinate proportion of ordinary detrital sediments, generally much less altered than the rocks of the Coutchiching, but sometimes approaching them in character.

Since the completion of the writer's work on the Keewatin of the Lake of the Woods he has spent three seasons in the study of the same rocks to the south eastward of that section of country, and much of his time when not in the field, has been devoted to the microscopic study of the rocks collected in the summer months, so that he is able to discuss their general characters much more satisfactorily than in his report of 1885. The various rocks composing the series may be classed under the following heads:—

I.—*Basic Volcanic:*

Altered diabase and gabbro, massive and schistose, with associated amphibolites or diorites and hornblende schists.

II.—*Acid Volcanic:*

Altered quartz-porphyries, felsite-schists, sericite-schists, porphyroids, &c.

* Report and Map now in publisher's hands.

† Geol. and Nat. Hist. Survey of Canada, Annual Report, 1885.

III.—*Volcanic Clastic*—Pyroclastic:

Ash beds, many graywackes,* tuffs, and agglomerates, both basic and acid, but in Rainy Lake region, perhaps mostly acid, and associated with quartz-porphyries.

IV.—*Detrital*—Epiclastic (Teall):

Conglomerates, quartzites, clay slates, micaceous slates; soft, grey, glossy, hydromica-schists; with chlorite-schists, mica-schists, and certain fine-grained grey gneisses, or rather feldspathic mica-schists.

V.—*Gabbro, Serpentine*, and some *Granite*:

Irruptive, but apparently of synchronous origin with the Keewatin series generally.

A word or two as to each of these different classes of rocks would be desirable, were there room for it; but the writer can at present only say briefly that the basic volcanic rocks (Class I.) constitute the base of the series as a general rule, and in that phase of the series which has been more recently studied, in the Rainy Lake region, there is a marked separation of them from the acid volcanic rocks, the latter occuring chiefly at the top of the series. The relationship indicates a distinct sequence of acid after rather basic extravasation in the same volcanic district even at this early period. The lower part of the series when in contact with the Laurentian is very constantly a dark green to black, eminently crystalline hornblende-schist. Where the series has the top beds of the Coutchiching for its floor this variety of hornblende-schist is found to be wanting, and to be replaced by softer, lighter green schists, or by massive altered diabase-traps. It appears from this that the character of the basal portion of the Keewatin series is a function of the geological character of the basement upon which it rests—an interesting fact which will be alluded to again. The basal portions of the Keewatin on Rainy Lake and Seine River, where that series

* In the sense in which R. D. Irving used the word.

rests on the Coutchiching, are characterised by thick beds of conglomerate, in which the pebbles are distinctly water-worn.

Relations which exist between the different Portions of the Archæan.

With the foregoing summary statement of the general characters of the rocks composing the different portions of the Archæan as represented in this region, we pass to consider briefly the relations which exist between these portions. That between the Coutchiching and Keewatin will be disposed of first in few words. As far as parallelism of structural planes is concerned there is apparent conformity between the two series. But the great contrast between the character of the rocks, a contrast which on Rainy Lake extends to the whole of the two series, indicates a profound change in the conditions of rock-deposition. The Coutchiching rocks appear to have been laid down in an epoch of extreme quiescence, free from any volcanic disturbance. The ushering in of the Keewatin epoch appears to have been the beginning of wide-spread volcanic activity which lasted throughout, and gave rise to the bulk of the rocks composing the series. The rocks of the Coutchiching series are, taken generally, much more altered, or metamophosed, than those of the Keewatin, although there is reason to believe that this is probably more due to its greater depth than to its older age. The thick beds of conglomerate at the base of the Keewatin indicate a period of erosion of the Coutchiching series coæval with the initial volcanic activity of the Keewatin. The water-worn pebbles are very different from the green schist paste; and although few can be identified with the Coutchiching rocks as we now find them, the majority of them are rocks of such a character as would readily yield the Coutchiching schists as a result of metamorphism. That they have escaped metamorphism in the conglomerate seems to be due to the fact that they are imbedded in a paste which has been quite yielding to pressure, while the pebbles have not been squeezed or deformed. In two instances granite boulders have been

found in these conglomerates, proving that the Coutchiching strata, upon which the Keewatin was deposited, was of limited extent, and that there existed a granite crust probably on the flanks of the basin in which the Coutchiching lay, and passing under it as a basement. Owing to the peculiar nature of the relationship between the Laurentian and the Upper Archæan, it is difficult to determine to what extent the Keewatin rocks overlapped the Coutchiching. The facts cited are sufficient to indicate, notwithstanding the prevailing parallelism of the structural planes, that the line of demarkation between the two series represents an historical break, during which the conditions of rock-formations were profoundly changed, and which is of the nature of an unconformity.

The facts relative to the contact of the Laurentian or Lower Archæan with the Upper Archæan are in this particular region simple, and susceptible of a simple interpretation. This interpretation is, however, apparently difficult of acceptance to some geologists; although it should not be so, since it is quite consistent with all the facts known to us.

The most striking feature of the contact is, that generally, wherever the Laurentian rocks are observed in close juxtaposition with either the Coutchiching or Keewatin, blocks and angular fragments of the latter are found imbedded in the Laurentian gneiss, most profusely near the contact, but also at great distances from it; further, the gneiss penetrates numerous cracks and fissures in the over-lying rocks in the form of dykes and veins, sometimes parallel to the schist planes, sometimes transverse to them. The whole aspect of the contact as observed in the field in very many instances, is that of a breccia, and there is the most abundant proof that the Laurentian gneiss has been in a state of viscosity or plasticity at a time subsequent to that at which the overlying schists of the Coutchiching and Keewatin series were hard and brittle. Where the contact is that of the Laurentian against the Coutchiching, the schists of the latter are strewn through the gneiss as inclusions; and where the contact is that of Laurentian against the Keewatin, fragments of the very different hornblende-schists and amphibolites are similarly found in the gneiss; and in both cases the gneiss

penetrates the schist as above stated. At great distances from the contact it would, of course, be difficult to prove that fragments of hornblende-schist or amphibolite in the gneiss were detached portions of the base of the Keewatin series, but close to the contact their origin admits of no doubt, and this being granted, we are warranted in presuming that very many precisely similar inclusions in the gneiss at the distance of a mile or more from the contact have a similar derivation.

Further, the schists of both Coutchiching and Keewatin series afford evidence of much more extreme alteration in the vicinity of the Laurentian rocks, than they do remote from the contact. The mica-schists of the Coutchiching series are at the contact studded with staurolite or andalusite; and the black colour and eminently crystalline aspect usually observed at the base of the Keewatin, where in contact with the Laurentian, is wanting in the same schists in the middle of the series, and at the base, where the Coutchiching intervenes between it and the Laurentian.

Briefly, then, the contact between the Upper and Lower Archæan is that which is ordinarily observed between stratified rocks and an intrusive granite. This interpretation of the facts will be discussed more fully in the following part of the paper, when it will appear in what sense the Laurentian may be regarded as intrusive, how many other facts are in harmony with this view, and what bearing it has upon the question of the origin of the crystalline schists.

Further Discussion of the Nature of the Relationship between Upper and Lower Archæan.

To repeat, we have broadly the Archæan complex resolved into two great divisions. The lower of these is composed of rocks which, but for their foliation, are commonly regarded as of plutonic igneous origin. Resting upon these we have the thick volume of stratiform rocks of the Upper Archæan, partly composed of what once were ordinary detrital sediments, and partly volcanic.

The comprehension of the exact relationship which exists between these two great divisions must, it appears to the

writer, afford the key to the Archæan geology of the region, and must, if clearly attained, be also of more than local interest, as the problem here presented is probably a common aspect of the general question of the Archæan crust.

By relationship is meant not only that in space, as now observed in the field, but also that in time, or the history of events which have produced the present phenomena. What is that history? To the writer it appears to be approximately determined by the following considerations:—

The Upper Archæan, being a very distinctly stratiform assemblage of rocks, partly detrital sediments and partly volcanic ejectamenta, there must have been a solid floor upon which such rocks were deposited. There is now no trace of that floor in the condition in which it must have been when other rocks were laid upon it. Whatever may have been its character, it has entirely disappeared as a floor upon which strata rest either conformably or unconformably, and in its place we find, at the base of the Upper Archæan, the assemblage of gneissic granites and syenites known as the Laurentian. This assemblage of rocks nowhere affords evidence of having been the pre-existing basement or crust from which the detritus of the Upper Archæan was derived, through which its volcanic rocks were extruded, or uponwhich it originally rested. On the contrary, it presents the most convincing evidence of bearing the same relation, subject to certain qualifications, to the Upper Archæan that an irruptive rock bears to the strata through which it breaks.

There is but one way of reconciling these statements. It is a simple conception, and one well in accordance with established geological truth, that certain portions of the earth's crust, upon which strata are accumulating, may sink gradually. Now, that portion of it upon which the Upper Archæan was accumulating, to a thickness of several miles (easily 9 miles), may be conceived to have been depressed, either by reason of the superincumbent weight, or from other causes, till it came within a zone of a sort of fusion compatible with the conditions at such depths.

Further, not only the floor, but portions of the formations now included in the Upper Archæan, may have been also affected by this fusion.

This fusion gives us the magma which is implied in the conception of the Laurentian gneisses, granites, and syenites, being of plutonic igneous origin. While the rocks which, on crystallisation, gave rise to the Laurentian, were in this magmatic condition, those of the Upper Archæan must have rested upon them as an unfused crust; and this seems to be the essential difference between these two divisions of the Archæan, viz., that the lower passed through a state of fusion after it had served as a portion of the solid crust, while the upper has escaped fusion, so that whatever crystallisation has taken place in it, subsequent to its deposition in the strata we now see, has been of the nature of molecular re-arrangement in the solid rock, or due to the action of percolating solutions, and may properly be termed metamorphism.

The disturbances which produced the folding of the Upper Archæan must have operated either prior to the fusing of the Lower Archæan, or while it was in a state of magma, since there are little or no evidences in the region of crust-movements after the Laurentian rocks had crystallised and taken their present "set." The convexities of the Upper Archæan synclines seem to have been immersed in the underlying magma, while the concavities of the anticlines were filled with it. It is not to be supposed that the line of separation of the unfused higher rocks from the magma upon which they rested was a sharp one. But certain disturbances, probably those connected with the folding of the rocks of the Upper Archæan, seem to have accentuated the sharpness of the line of contact, and, in many places, to have shattered the basal portion of the unfused rocks, so that blocks of the latter became detached, and passed into the magma, while the latter penetrated the crevices and cracks. Some such disturbance, prior to the solidification of the Laurentian, seems necessary to explain the sharpness of the line of demarcation between the Upper and Lower Archæan, and, at the same time, the more or less brecciated character of that line. The considerations as to the cause of earth movements, advanced by Mr. T. Mellard Reade,* induce the writer to suggest that shrinkage, after excessive expansion, about the time that the Laurentian magma was becoming

* "The origin of Mountain Ranges." London, 1886.

cool enough to crystallise, was probably the cause of this disturbance.

By fusion is not necessarily implied a dry fusion, nor by magma a molten liquid, in the sense in which it is ordinarily understood. Indeed, there is evidence in the field we are considering that water played an important part in the fusion to which the Lower Archæan rocks were subjected. This consists not only in the abundance of liquid inclusions in the crystals of the Laurentian rocks, particularly in the quartz, but also in the fact, previously alluded to, of the abundance of vein-quartz in the form of lenticular sheets between the strata of the Coutchiching series on Rainy Lake. This had its origin subsequent to the deposition of the strata, and is conceived to have been deposited from solutions emanating from the Laurentian magma underlying these rocks.

As regards the character of the magma, there is evidence (1) That it was not absolutely homogeneous; (2) that it was of an extremely thick, tenaceous, or coherent nature, probably somewhat analogous to some forms of soluble silica; and (3) that it was subjected to differential pressures, and to consequent movements just prior to consolidation.

The evidence of its heterogeneity consists in the distinctness with which the rocks resulting from its consolidation are differentiated into less and more basic types. In the northern portion of the Rainy Lake region, where the Coutchiching series is wanting, and the Keewatin is in direct contact with the Laurentian, the lower portion of the exposed Laurentian rocks is very quartzose, while the upper portion is of the character of a hornblende-syenite.

The sequence in basicity of the Laurentian rocks is, therefore, the more acid in the lower part and the more basic in the upper part; and there is a comparatively sharp line between the two, indicating that there had been no intimate intermingling of the layers of the magma, which are now represented by the biotite-granite-gneiss and by the hornblende-syenite-gneiss. It is interesting to note that this sequence is precisely that which obtains in, as near as can be judged, the same degree, in passing from the Coutchiching to the Keewatin; and as, in this part of the field, the Coutchiching

is wanting, there is reason to believe that these two subdivisions of the Laurentian have resulted from the fusion and re-crystallisation of the Coutchiching series, and part of the Keewatin, the latter giving rise to the hornblende-syenites, and the former to the biotite-granite-gneisses.

The evidence indicating that the magma was, as it approached the time of solidification, of a thick tenaceous character, and that it yielded to differential pressures, is afforded by the relationship of many of the angular inclusions of schist and amphibolite to the enclosing matrix of gneiss. In many instances these are clearly seen to have been torn asunder and drawn out into streams of fragments, whose original union in one piece is undoubted. That such tearing asunder of the inclusions is not the result of deformation of the rock after the matrix had crystallised, but before, while it was yet at least partially a magma, is proven by the absence of any such evidence, as is abundant in the upper Archæan, of the deformation of the matrix in which the inclusions are imbedded, and by the penetration of the gneiss into the remotest cracks and crannies of the shattered inclusion, which penetration could not have been effected had the matrix been a solid crystalline rock, without it suffering deformation. Such a condition of affairs could only have been brought about by differential pressures acting on a fluid which was nearly a solid, but which had not yet crystallised, and which had nearly the same grasp upon foreign bodies immersed in it as a solid would have, so that it tore them apart when yielding to pressure.

The same conditions suggest the origin of the foliation in the granite matrix. It seems very reasonable to suppose that, if inclusions can be arranged in streams, and so produce foliation on the large scale, by the yielding of the mass to differential pressures, the foliation of the matrix was similarly produced by its crystallising while thus in slow motion, or while tending to move, which tendency was effectuated only molecularly in the arrangement of the crystallising minerals.

The geological mapping of a region so well exposed is of the greatest value in an attempt to elucidate the structure of the crust, and must always exercise a powerful control on

any speculations that may be indulged in as to the development of that structure. Is the mapping of the region in question in harmony with the views advanced? It most certainly is. A mapping, in which only the Upper and Lower Archæan are distinguished, affords the strongest evidence of the correctness of the interpretation of the other leading facts above discussed.

In the region under consideration, which extends for 300 miles east and west, and has a breadth of about 100 miles, the relative distribution of the Upper and Lower Archæan is sufficiently well known to admit of a general statement of great importance, viz.: that invariably the Laurentian rocks occupy circular, oval, or lenticular areas which are surrounded by the strata of the Upper Archæn. These strata are disposed in sharply-folded troughs, which strike around the Laurentian bosses, each encircling trough anastomosing with its neighbours so that, taken as a whole, the surface distribution of the Upper Archæan is that of a great net, in the meshes of which appear the isolated areas of Laurentian gneiss. This relationship was first observed on the Lake of the Woods, and was again worked out with care on Rainy Lake. The relationship was so well defined there that the inquiry was suggested as to whether it obtained generally throughout the region, and on compiling the valuable notes which Mr. Peter McKellar, of Fort William, kindly furnished, as to the distribution of these rocks, and the recorded observations of Dr. R. Bell, with the writer's own observations, it became very apparent that this relative distribution of Upper and Lower Archæan was a very constant one throughout the region.

The map* will show the general results of the survey of the country. Taken in connection with the brecciated or igneous character of the contact, with the more highly-altered condition of the Upper Archæan rocks near the contact, and finally with the essentially granitic character of the rocks, notwithstanding their foliation, it leaves little room for doubt, that:—(1) The unstratified rocks of the Laurentian underlie the stratified rocks of the Upper Archæan, as is

* Exhibited (on large scale), but not published with this paper.

implied in the use of the terms upper and lower. (2) The sharply-folded troughs of the Upper Archæan strata are sunk down into the Laurentian gneiss. (3) That at some period the Laurentian rocks, while underlying the Upper Archæan, have been in a state of a magma quite analogous to that from which granites crystallize; (4) and that since the Upper Archæan must have been deposited on a firm floor the said magma must have arisen in great part from the fusion of that floor; but partly also, doubtless, from fusion of parts of those series, the remnants of which are classed as Upper Archæan.

The distribution of veins and metalliferous deposits in the Archæan has farther an interesting bearing upon the question of the history of these rocks. The Laurentian rocks of the region are remarkably barren of metalliferous deposits. The Upper Archæan, particularly the Keewatin series, which is largely composed of volcanic rocks, is rich in such deposits as native gold (with a little associated silver), iron ores, copper pyrites, iron pyrites, mispickel, galena, and zinc blende. These minerals are abundant in the Keewatin series, though of course only occasionally found sufficiently concentrated to be of economic value.

There can be little doubt but that their occurrence in these rocks is intimately associated with the volcanic rocks, although the period of their formation is not necessarily that of the formation of the volcanic rocks themselves. Now unless we regard the floor upon which the Upper Archæan was deposited to have been the original crust of the earth, for which supposition we have no good evidence, we must assume that it was made up of ordinary strata, either volcanic or sedimentary, or composed of both. As such it is probable that it was traversed by veins, and that in the volcanic portions, if not elsewhere, these veins were metalliferous.

But in the Laurentian we do not find anything like the number of veins that are found in the Upper Archæan, and those that are occasionally observed are not metalliferous. The simplest explanation of this marked difference between the Upper and Lower Archæan, as regards veins and metalliferous deposits, appears to the writer to be precisely that

which gives a satisfactory account of all the other features of the region, viz.: that the Laurentian rocks have passed through a state of fusion, while the superincumbent Upper Archæan remained unfused. This fusion would cause the dissemination throughout the magma of whatever metalliferous deposits had been segregated in veins, so that they could not be detected by ordinary means. The veins which cut the Upper Archæan are probably, as before suggested, due to aqueous emanations from the Lower Archæan magma, the metals in the veins being probably derived from the volcanic rocks traversed by these emanations; so that the very causes which obliterated veins and metalliferous deposits in the lower portion of the Archæan may be said to have given rise to those in the Upper Archæan.

If the conception which has been advanced,* as to the relationship existing between the Upper and Lower Archæan, be correct, it follows that the conditions which we find in the Archæan in this region are not necessarily confined to the oldest rocks; nor do such conditions occuring in different portions of the earth's crust necessarily imply that the rocks so conditioned are of the same geological age or even approximately so; since the conditions depend on actions which have taken place at great depths, and not on the factor of time, and their exposure on profound denudation. The coincidence that profound denudation usually requires long geological time, renders it commonly true that these conditions exist† in pre-Cambrian rocks, *i.e.* Archæan as ordinarily understood. But that coincidence is not necessarily a constant one as to extent of time; and our hypothesis leaves us quite open to this contingency, viz.: that in Cambrian and post-Cambrian times strata may have accumulated in certain portions of the earth's crust to such an extent as to sink the floor upon which they rested within

* The same views were expressed by the writer in the paper previously referred to. *Am. Journ. Sc.*, vol. xxxiii., June, 1887.

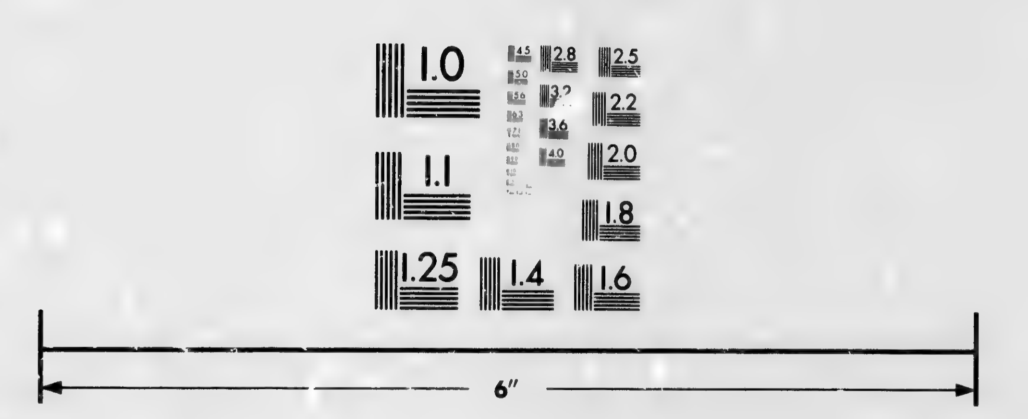
† There is much evidence in Canada that the greater part of the erosion and denudation which reveals to us the Lower Archæan rocks took place in pre-Cambrian times, and, indeed, that the general aspect of the Archæan rocky surface upon which the Cambrian and perhaps older rocks (Animikie) were laid down, did not differ much from that of the country upon which post-glacial deposits have been spread.

a zone of fusion, accompanied or followed by crumpling, upheaval, and solidification of the magma; the whole being subsequently laid bare by denudation. This does not seem to be a common case except perhaps in the cores of some mountains. But, as a theoretical deduction from the hypothesis, it is interesting to note that it seems to be confirmed by fact, as described in two memoirs in the last Annual Report of the Geological Survey of Canada. The first of these, by Dr. G. M. Dawson,* gives us very interesting information as to the conditions on the west coast in this respect, and I cannot do better than quote his own words. "The beds of the Vancouver series [Triassic] are the oldest known to occur in the district here described and in the Queen Charlotte Islands, and are frequently found in contact with or resting upon granite rocks. They have not, however, been deposited upon a granitic floor, as the granites are evidently later in date than the rocks of the Vancouver series, and nothing whatever is known of the character of the surface upon which its volcanic and other associated beds were originally formed. The relations of the granites to the rocks of the Vancouver series is peculiar, and appears at first sight to be of a very anomalous character. * * * The circumstances attending the line of junction of the granites with the rocks of the Vancouver series have been carefully examined at a great number of points. The granites near this line are usually charged with innumerable darker fragments of the Vancouver series, which, when in the immediate vicinity of the parent rock, are angular and clearly marked, but at a greater distance become rounded and blurred in outline, and might then be mistaken for concretionary masses in the granite, into the substance of which they have been in process of being absorbed. The width of the belt characterized by these fragments is very variable, and where the plane of the present surface cuts that of the junction of the two classes of rocks at an acute angle—as is often the case—it is considerable, frequently exceeding half a mile. * * * The edge of the Vancouver series is also, for some distance from the contact,

* On a geological examination of the northern part of Vancouver Island and adjacent coasts. Report B, pp. 11–13; 1887.



IMAGE EVALUATION
TEST TARGET (MT-3)





very generally shattered and penetrated by granitic spurs, or by felsitic dykes, which probably represent the granite in a fine-grained state. * * * The only explanation which appears satisfactorily to account for the appearances met with, is, that in consequonce of upheaval and denudation, we now have at the surface a plane which was at one time so deeply buried in the earth's crust that the rocks beneath it had become subject to granitic fusion or alteration. * * * It is clear that the granite rocks beneath were in a plastic condition, not alone from the fact that they are found to penetrate the older series, but also from the evidence everywhere met with of the scattering out of fragments of the stratified rocks into the granites. * * * In some places both the granites and the rocks of the Vancouver series have been subjected to great pressure in a horizontal direction, causing the fragments in the agglomerates to assume lenticular forms, and impressing a more or less distinctly schistose character upon them, while the dark included fragments in the granites have been squeezed out into sheets, giving the portions of these rocks which are characterized by an abundance of such fragments an almost gneissic lamination. At the time at which this effect was produced, the granites must still have been in a plastic state.

"Isolated masses of the volcanic rocks which have been included in the granites are occasionally found in a highly crystalline schistose state. In a few places within the granite area, distinctly gneissic rocks were noted. These may either be still more highly altered portions of the Vancouver series, or may be the result of a foliation superinduced in the granite itself. There is little or nothing to indicate that they represent remnants of any older distinctively gneissic formation. * * *

"The relations here well exemplified by the contact of the Vancouver series with the subjacent, though newer, granites, precisely repeat those fully detailed by Mr. A. C. Lawson in his report on the Huronian [?] (Keewatin) and so called Laurentian rocks of the Lake of the Woods. I have myself described the subjacent granitoid gneisses of that particular region as Laurentian (Geology and Resources of

the Forty-ninth Parallel, 1875), but in view of the facts now brought to light there, and those here detailed, I am disposed to regard them as not properly referable to the Laurentian, but as foliated granites, which have been produced by circumstances nearly identical with those which have affected the Vancouver series."

These observations from the pen of so experienced a geologist as Dr. Dawson, appearing so soon after the publication of the writer's views on the geology of the Lake of the Woods and Rainy Lake, are a gratifying confirmation of the correctness of his interpretation of the leading facts noted in a study of that field. Dr. Dawson's query as to the reference of the Lower Archæan rocks to the Laurentian is a minor point, and one which the writer is persuaded he would not seriously press on looking farther into the matter, since they are the rocks which have been called and mapped Laurentian ever since the name was first used, not only in typically described areas, but over the greater part of Canada, and in many other parts of the world.

The second memoir which the writer would cite is that of Mr. E. R. Faribault, on the Lower Cambrian rocks of Guysborough and Halifax counties, Nova Scotia.* In it the author describes in some detail the conditions which attend the irruption of certain extensive areas of granite through the Cambrian rocks of Atlantic coast of Nova Scotia. There is no possible doubt, from Mr. Faribault's descriptions, that these granites are of later age than the Cambrian—cutting and altering them; and yet that they form the floor upon which the Cambrian rocks rest, and have in part probably been produced by the fusion of them. These granites are moreover very commonly characterised by a gneissic foliation, so much so that in his classification of the rocks Mr. Faribault describes the granite generally as "gneissic."

Now, these very gneissic granites differ in no essential particular from the Laurentian gneisses, and if found in the Ottawa valley, or on the St. Lawrence, or on Lake Superior—far away from the Cambrian rocks, and so plainly checking any speculations as to their age, they would beyond doubt be

* *Loc. Cit.*, Report P, p. 131.

called Laurentian. Similarly, the specimens of the granites from the west coast, placed in the museum at Ottawa by Dr. Dawson, do not differ essentially from the great bulk of the Laurentian rocks throughout central Canada, except that in the latter the foliated structure is a more pronounced and constant character; and, as Dr. Dawson and the writer are agreed, both were produced under quite analogous circumstances, though vastly differing in age.

But, it may be urged, are there not in the Laurentian, as typically described in the earlier reports of the Geological Survey of Canada, limestones and quartzites, whose general characters and stratiform arrangement indicate that they are simply altered sediments? There certainly are such strata, and they have been included with the granitoid gneisses as Laurentian; but it is not impossible that on careful examination they will, with whatever mica-schists, feldspathic mica-schists (or bedded gneisses), hornblende-schists, &c., may be associated with them, be found to be related to the great bulk of the granitoid gneisses ordinarily called Laurentian, in the same way that the Upper Archæan is related to the Lower Archæan in the region north-west of Lake Superior. And, indeed, some of the limestones on the north side of the Ottawa, which the writer has seen, are very distinctly inclusions in the gneiss, and are probably remnants of an old crust that rested upon the Laurentian gneiss when it was in a fused condition. Sir Wm. Logan proved the great continuity of many of these limestone-bands and their intercalation with gneiss, but he did not describe for us the nature of the contact of the limestone with the gneiss, nor did he establish the meaning of the intercalation, assuming all the while that it was the result of sedimentary deposition. It is not at all impossible, and in the light of his own investigations it seems to the writer quite probable, that this intercalation may have been produced in other ways than by sedimentary deposition, viz., by the partial fusion of the crust, and the arrangement, by differential pressures and motion, of the fused and unfused portions in layers. The greater part of these gneisses being essentially granite, and having doubtless the same origin as granite, we must explain their intercalation with the limestone, quartzites, and schists in some such way as this, or regard

the limestone and quartzite as of the same origin as the granite, which latter assumption is not warranted in the present state of petrographical science. If this explanation be correct, and the limestone and quartzites be the remains of sedimentary strata, while the gneisses with which they are associated and even intercalated, are of plutonic igneous origin, then there ceases to be that objection as to the possibility of organic remains being found in them which must always exist so long as they are supposed to have an identical origin, and to have passed through the same stages of development as the granitoid gneisses. Thus, if competent authorities decide that some of the things called *Eozoon Canadense* are really of organic origin, then those geologists who regard the question in its purely physical aspects, and at the same time accept some such interpretation of the development of the Archæan rocks as has been above suggested, could have no objection to urge against the validity of their conclusions.

It will have been gathered from what has been said, that the action which gave rise to the Laurentian gneisses by fusion and recrystallisation of a portion of the crust is conceived to have taken place at depths within the crust. This conception implies that there could be no Lower Archæan without a corresponding Upper Archæan, the latter being that portion of the unfused crust which immediately over-lay the fused. But owing to the agency of denudation, there are vast regions of Archæan rocks in Canada in which only the Lower or Laurentian gneisses are exposed, the Upper Archæan being entirely removed. Again, there are other regions where the Upper Archæan only is exposed, denudation not having cut through to the Laurentian. It is apparent that by a study of neither of these kinds of geological fields would the facts suggest the relationship which the writer has partially worked out, in the region north-west of Lake Superior, where the extent of denudation is such as to expose about equal proportions of the Upper and Lower Archæan.

The line of demarkation between Upper and Lower Archæan may not be at the same part of the geological

column at different places. Thus in the Rainy Lake region it seems probable that the fusion, which gave rise to the Laurentian rocks, extended in some places only to the lower part of the Coutchiching series, and in others entirely through to the Keewatin, involving some of the latter itself. It has been shown also, that similar relationships as exist between Upper and Lower Archæan may obtain in rocks of Post Archæan age. But whether in Archæan, or Post Archæan rocks, it is true that, *petrographically considered, the lower rocks are newer than the upper*, having been in a magmatic condition while the upper retain their characters as firm strata. And this relationship between the two portions of the Archæan complex, being quite analogous to that between a granitic boss and the strata through which it breaks, only on a vastly larger scale, has an all-important bearing on the question of the development of the crystalline schists. First, it rules the Laurentian gneisses out of the category of metamorphic rocks, "metamorphism" in the technical sense being understood to stop where fusion begins. Second, it explains much of the regional metamorphism of the Upper Archæan, as a widespread manifestation of what is known as "contact metamorphism," and due to the same causes. The rocks of the Upper Archæan are more or less altered by metamorphism. Very few are so altered but that microscopic study, taken in connection with field study, affords fairly good evidence as to their original characters. Such alteration as they have undergone, however, is not due to any single cause or set of causes. Part of it, such as the formation of cements and many molecular rearrangements, takes place in rocks in a state of the utmost quiescence, and at ordinary temperatures. Part of it comes under the head of dynamical metamorphism, and embraces the shearing and sundering of the minute structure of the rock with concomitant chemical activity. A large portion of the alteration, however, particularly at the base of the Upper Archæan, is not ascribable to either of these, but appears to have been due in large part to the proximity of the underlying Laurentian rocks while they were in a state of magma, and to have been effected by the aqueous, gaseous, and radiant emanations that proceeded from that magma.

ON THE CRYSTALLINE SCHISTS OF THE UNITED STATES AND THEIR RELATIONS.

(By various Members of the U.S. Geological Survey.)

(*a.*)—INTRODUCTION.

By

Major J. W. POWELL, Director.

In the United States there are rocks outcropping throughout large areas which have been denominated "Azoic," "Archean," and "Metamorphic," some portions of which have been called "Crystalline Schists." These rocks are found in a large part of New England, and southwestward through the Appalachian Mountains to central Georgia; and again, in wide districts in Michigan, Wisconsin, and Minnesota, known as the Lake Superior region, and extensively distributed in the Rocky Mountains and the Sierra Nevada and locally in many other regions. These formations are in part massive, crystalline bodies, in part crystalline schists, and in part non-fossiliferous sandstone, shales, and limestones, the clastic character of which is quite evident. Present investigation of these rocks is leading to the following results:—

1. Parts of these rocks on careful study are found to be fossiliferous, and such portions are being relegated to various parts of the paleontologic column, from the Cambrian to the Cretaceous systems.

2. Another portion, plainly clastic and composed of sandstones, shales, and limestones, are being grouped by the various members of the United States Geological Survey in a distinct system, for which the terms "Proterozoic, "Agnotozoic," and "Eparchean" have been proposed by different

persons; but at present the term "Eparchean" obtains the preference. As stated, these rocks are plainly clastic, and although well-defined fossils that can be described as species, have not yet been found therein, yet fragments and traces of fossils are sometimes discovered, and the chemical evidence of the existence of life during the deposition of these formations is abundant. The thickness of this system varies in different portions of the country from 5,000 to 40,000 feet, and the rocks are widely distributed. It does not seem possible at present to formulate a classification of the Eparchean formations which can be carried from one district of country to another so as to cover the entire region of the United States where these formations are found. For this reason each separate and distinct regional outcrop is given a name, as for example: the Huronian Eparchean, the Uintah Eparchean, the Grand Cañon Eparchean, the Llano Eparchean, &c., each one of which may be subdivided on physical characteristics independently of the others.

3. Another class of rocks, embracing what has usually been called in this country "Laurentian," and a portion of what has been called "Huronian," is relegated to another system and called by the geologists of the United States Geological Survey "Archean." In these rocks the evidences of primary clastic conditions are more obscure, yet often found. Wherever Archean and Eparchean rocks are found together the Eparchean are seen to lie on the Archean unconformably. It seems from present evidence, that throughout the United States, wherever Archean formations are found in conjunction with the formations of other systems, there profound unconformity is discovered, and that the physical break at the summit of the Archean is more general than at any other horizon. In the Lake Superior region the crystalline schists are supposed to be wholly Archean, as here defined, but in other regions crystalline schists sometimes seem to belong to other systems.

4. Many of the massive crystalline rocks are determined to be of eruptive origin; many are relegated to Archean and Eparchean times, some few to systems of later origin; the geologic time of the most of such bodies is a subject for future investigation.

5. It is found that clastic and eruptive rocks of various ages may alike become schistose.

6. The processes of metamorphism seem to be greatly diverse, and are at present relegated to different agencies.

It will be seen from the foregoing that the several investigators in this field are segregating from the great mass of rocks hitherto called Archean certain formations denominated Eparchean. The Eparchean, therefore, becomes a definite "system," the Archean still remains as a body of unclassified formations, some of which are known to be older than the formations of the other systems.

Two conditions greatly complicate the problems involved in the study of all these rocks. The first is the frequent and extensive occurrence of volcano-clastic rocks, and the second the difficulty of distinguishing the sedimentary from the schistic structure.

The following papers express the opinions of some of the geologists of the Survey who are in these fields. It is a cause of regret that circumstances do not permit the preparation of short papers by Professors Pumpelly, Emerson, and Williams, who also have done extensive work in the investigation of these formations, the genesis of which is so obscure.

The triple authorship of the essay on the Lake Superior district is due to the sudden death of Professor Irving, an investigator whose loss American geology can ill afford. On the reception of the first letter from the Secretaries of the London Committee he was selected to present to the Congress the status of the work of the Geological Survey on the crystalline schists. Previous to the fatal attack he had prepared a preliminary analysis of the paper, and this was afterwards amplified at my request by Professor Chamberlin and Professor Van Hise, his two most intimate associates in the work of the Lake Superior district. The shortness of the remaining time led to the omission of full references and to the limitation of the scope of the essay. The supplementary invitation received from the London Committee enables me to add papers by Mr. Becker and Captain Dutton, which are in a measure complementary to that on the Lake Superior district.

(*b.*)—The Crystalline Schists of the Lake Superior District.

By

R. D. Irving, T. C. Chamberlin, and C. R. Van Hise.

Broad sense in which the term "crystalline schist" must of necessity be taken in the present Essay.—The subject proposed for consideration embraces simply the crystalline schists; but we are confronted at the very outset with a serious difficulty in delimiting it, arising from the extreme vagueness with which this term has heretofore been used in the United States. Previous to the application of the newer petrographic methods—and even now with not a few geologists—almost any non-fossiliferous rock presenting in some sort a stratiform structure, and more compact and indurated than is usual with post-Archæan strata, has been spoken of as a crystalline schist. A large part of such rocks are now known to be no more nor less than out-and-out fragmentals, indurated by interstitial depositions, or by the metasomatic development of various minerals. For such rocks, when occurring in great areas, and often associated closely with typical crystalline schists, the term "metamorphic," in the sense of an alteration from some form of sediment, was more generally used in the United States, prior to the present decade, than any other. Indeed, this term metamorphic, with many writers, has included also massive crystalline rocks, such as granite, diabase, &c. So interwoven in their occurrences are the typical crystalline schists with the more modified fragmentals and the massive crystallines alluded to, and so closely associated are these three kinds of rocks in the older literature of American geology, that all must of necessity receive some consideration here. The near approach of certain foliated fragmental derivatives to typical crystalline schists—indeed, their gradation into undistinguishable, if not identical, forms, and the passage of massive eruptives into schistose phases—would render very difficult a sharply limited consideration of the typical crystalline schists.

A typical crystalline schist, as the writers understand it, is a rock of completely crystalline, interlocked texture, which is possessed of a schistose parting, due to a parallel or foliated arrangement of the mineral ingredients, or of aggregations of these ingredients. But the present paper will touch upon not only these typical crystalline schists, but such modified fragmentals and massive crystallines as have heretofore, in the United States, been described under the general term "metamorphic," the three sets of rocks being at times closely associated regionally in the field.

Application of the modern petrographic methods to the study of crystalline schists.—The application of the newer petrographic methods of study to the so-called crystalline schists within the United States may be said to fall almost wholly within the present decade. A few geologists had been using the microscope upon these rocks during the last three or four years of the previous decade, but their observations were scattered and desultory. Indeed, the investigations since 1880, although far more systematic and important than before, have been carried on by only a few geologists, and make but a feeble beginning when the immensity of the field is considered. But enough has been done in this direction, particularly when the recent investigations in Europe are taken into account, to warrant the statement that no study of the crystalline areas can be relied upon for even the most general structural conclusions unless it has been accompanied by thorough microscopic study. It is not designed to imply that microscopic study renders the less necessary careful field-examinations; on the contrary, the most scrupulous field-studies are as imperative as ever, perhaps more so; but the constant use of the microscope is essential to give accurate knowledge of the general nature of the rocks examined, and also to afford the special criteria necessary for the discrimination of closely similar rock-masses, a prerequisite to a proper correlation of exposures. The microscopic experience of candid workers, while it has aided them in distinguishing more readily in the field certain well-marked types of rock, has yet, on the whole, only led them more and more to distrust themselves in attempts to discriminate similar rocks by the unaided eye. Cases have

even been met where two schistose rocks, supposed to be part of a common mass, were found upon microscopical examination to be, the one an out-and-out fragmental, and the other a diabasic eruptive in which had been developed a secondary foliation.

Condition of knowledge and opinion as to crystalline schists prior to the present decade.—While microscopic petrography had thrown the earlier rays of its coming light upon the nature and origin of the massive rocks prior to the present decade, it had not illumined in any considerable degree the study of the crystalline schists, and the knowledge of these was little more than that obtainable by unaided field study. The ideas held by geologists respecting their origin were chiefly those of the old text-books. Schistose, slaty, and other rocks showing a banded structure, even though obscurely, were generally regarded, without serious question, as of sedimentary origin. The process by which they became changed from this supposed original condition to their present crystalline character was designated "metamorphism," which was rather a vague naming of an unexplained process than a true explanation. The use of the term metamorphism became, therefore, rather a stumbling-block in the way of ascertaining their true character than a useful suggestion or a guide to fruitful inquiry. It was a term which, indeed, rose from legitimate interpretation of observed transitions under obvious conditions, but after being applied to rocks which could be proved to be metamorphic was carried over to all classes of crystalline schists, and often to massive rocks, whether anything was known about their original condition or not. Critical investigation with the microscope had not, however, proceeded far before the sweeping classification of these rocks as metamorphic, in the old sense, was completely broken down, and the way prepared for a new and more discriminative grouping. It is to this new collocation that the attention of investigators in this field is now turned, in the hope that a tentative grouping may be reached which will grow at length into a permanently satisfactory classification.

Rocks excluded from the discussion.—In the present essay a large class of massive rocks, such as diabase, gabbro, and

granite, though often closely associated and even intricately mingled with the true crystalline schists, may be excluded from the discussion. As just remarked, many such rocks were formerly assumed to be produced by metamorphic processes from sedimentary deposits. They were regarded as rocks in which alteration had worked its extreme results. No serious effort, however, was made to trace them into unquestionable sedimentaries, and when the attempt was later made it was found impossible to do so. Modern petrography has proved to the satisfaction of most geologists that these rocks are generally, if not universally, of eruptive origin. They may therefore be set aside, measurably, in a study of the crystalline schists. They cannot, however, be entirely ignored, for, even though there be no regional transition from fragmental into strictly massive crystalline rocks—which is not asserted—a transition of precisely the opposite phase must be recognised. As will be seen later, massive eruptive rocks have been quite satisfactorily shown to have been transformed, in certain localities, into crystalline schists. The line of separation between these derivative crystalline schists and the original eruptives is obviously more or less arbitrary. Notwithstanding these occasional transitions, the frequency of whose occurrence remains to be determined, it is believed that for the immediate purposes of this discussion the massive crystalline rocks need only incidental consideration.

Discovered methods of development of schists.—Investigators of the crystalline schists in the United States have attacked the problem from different directions.* One class, beginning with rocks, which are undoubtedly eruptive, have traced out a series of gradations connecting these rocks with crystalline schists, and have satisfactorily shown that these latter are derivatives from the eruptives. Crystalline schists of such derivation have been identified in quite a number of places in the United States and in Europe. The schists of this origin include various sericitic, chloritic, and hornblendic

* Investigators elsewhere have, simultaneously, or earlier, or later, and for the most part independently, made similar studies with like results. It lies outside of our province to review these here, but it would be unpardonable to fail to recognise the importance of their contribution to the investigation of the general problem.

varieties. The evidence of such an origin for certain of the green crystalline schists of the Marquette and Menominee iron region, south of Lake Superior, has been elaborately worked out by Dr. George H. Williams. He has, as it seems to us, conclusively shown that dynamic and metamorphic processes have completely changed massive eruptive rocks —probably of the diabase and gabbro type—into crystalline schists. These results lead in a direction exactly opposite to the old theoretical views. Formerly, the terms metamorphic diabase, metamorphic gabbro, metamorphic granite, etc., were used to give expression to the belief that such rocks were formed from sedimentary deposits by metamorphic processes. This view was grounded on the fact that crystalline schists were seen to grade into them, and it was not thought that these crystalline schists could be otherwise than of sedimentary origin, and therefore it was concluded that the massive rocks, into which they grade, were also originally sedimentaries in which the process of metamorphism had reached its extreme results. In our investigations, however, we have not been able to trace a fragmental rock into a diabase, gabbro, or granite; while, on the contrary, the passage of undeniable eruptives into typical foliated crystalline schists has been conclusively proved. Thus one source of the derivation of crystalline schists has been determined, and the adoption of this line of approach to the problem amply justified.

Another class of investigators have approached the study of the crystalline schists by microscopical examination of the alterations exhibited by fragmental rocks. Starting with those which are near their original clastic condition, they have traced a series of steps by which fragmental rocks have graded into completely crystalline rocks, and in some cases into crystalline schists. This line of investigation has disclosed four important phases of crystalline development.

1. It has confirmed, as a minor fact, the old belief that fragmental rocks become consolidated and quasi-crystalline by the simple filling up of the interstices by new material deposited from solution—a process of natural cementation. While this has been confirmed as a fact, its prevalence and importance as a process has been dwarfed rather than magni-

fied by the discovery that much interstitial filling falls under the next head, and is a process of a higher order.

2. It has been shown that many completely crystalline rocks, which have heretofore been classed as metamorphic, have been changed from an original fragmental condition into a thoroughly crystalline state by a secondary growth or rebuilding of the original individual fragments. Each grain, which was but a bit of an old crystal, not only added new material to itself, but *subordinated it to its own crystalline system;* in other words, restored itself crystographically. Each grain thus grew until it was interrupted by the similar growths of its neighbours, and until the whole of the interspaces were filled up by the interlocking crystals as completely as in the similar crystalline growths of a quartz-vein. This process of crystalline restoration, or second growth, has been shown to be a prevalent and important one, affecting extensive formations, and including, among the rock-varieties so produced, certain of the crystalline schists.

For the greater part, however, these rocks are not foliated, and only fall into a discussion of the crystalline schists in the fact that they afford the clearest examples of one of the lines of development along which fragmental rocks have passed into schists.

The most impressive examples of this process of crystalline reconstruction are furnished by the great quartzite formations. These quartzites are ofttimes as completely crystalline as the most vitreous vein-quartz, though clearly seen under the microscope to have been once quartzose sandstones. The alteration they have suffered is, however, not at all what it was formerly assumed to be, a consolidation of the rounded grains under the influence of heat, moisture, and pressure; on the contrary, the original rounded grains of the sandstone exist in their entirety, just as they were deposited, and are usually sharply outlined in the thin section by the bubbles, films of iron-oxide, and other coatings which surround them. The change in the rock consisted, as already indicated, of a deposition of new silica on the exterior of the grains and of the coatings, but notwithstanding the separating film, this added material subordinated itself to the crystalline structure of the old grains, which thus rebuilt

themselves so far as the free space and the interfering growths of adjacent particles permitted.

Some of these quarzites show also new silica crystallized independently in the interstitial spaces, in which cases the development links itself with the preceding class, in which this independent interstitial material occupies the whole space and holds the old rounded grains as in a matrix. There are all intermediate gradations between the two types; but recent investigation has shown an unexpected prevalence of the subordinated secondary growth.

As before observed, these quartzites are usually not foliated, and hence the chief import of these discoveries has been rather to show the *metasomatic* development of crystalline rock from fragmental rock, as distinguished from the former supposed *metamorphic* development, rather than to contribute directly to the elucidation of the origin of the crystalline schists; but some of these quartzites of fragmental origin have been observed to grade into foliated quartz-schists and sericitic quartz-schists, which may be properly classed with the typical crystalline schists, and thus there is completed a gradation from the original fragmental rocks through various degrees of alteration by interstitial growths to the true crystalline schists. These foliated quartz-schists resemble the ordinary quartzites closely in other respects, but, in these instances, the new material has chiefly been added in such a manner as to elongate the grains in a common direction. Generally, also, the original grains are less easy of discovery, and at times are not distinguishable at all. The impression is conveyed by an inspection, though it may be illusive, that pressure or mechanical motion were present during the development and were determinative agencies. In some instances, other minerals, such as sericite and muscovite, have been developed in these foliated quartz-schists.

In some cases in which no original fragmental grains can be distinctly determined, the schists can often be demonstrated to be an integral part of a stratum which, in its other portions, shows a fragmental character at a glance under the microscope.

3. It has been further shown that fragmental rocks may

develop into crystalline schists by quite a different process. The original sediments, in the cases in which the demonstration has been worked out, were composed chiefly of acidic feldspar fragments. These have undergone re-crystallisation, each feldspathic grain altering into more basic minerals, chiefly muscovite and biotite, with the simultaneous separation of the remainder of the silica as quartz. In other instances the feldspar was changed into chlorite, with an attendant separation of silica. The result was the production, from a completely fragmental rock, by metasomatic changes only, of a rock which presents every macroscopic appearance of complete original crystallisation, and which would be ordinarily classed, without hesitation, as a genuine crystalline schist. The process differs widely from the preceding, in that it involves an internal change of the original grains, a disintegration and a new integration running hand in hand. The resulting rocks embrace a considerable variety of chloritic and mica-schists. Those of which the origin is now certainly known are not, in general, of a very highly foliated class, perhaps for the very reason that it is only in those cases in which the process has not reached its ultimate result that the steps can be traced. In the Penokee range a graduated series has been traced, by following definite geological horizons from east to west, which embraces at the one end slightly altered arkose sandstones or graywackes, and at the other well crystallised and highly foliated mica-schists, the latter scarcely distinguishable from the typical mica-schists of the Laurentian series.

In the study of these changes no reason has been found for believing that exceptional heat and pressure were essential factors in their production. They appear to be purely metasomatic changes taking place as secular processes under ordinary conditions.

4. It has still further been shown that another considerable class of crystalline schists, embracing ferruginous quartz-schists, magnetite- and hematite-schists, and magnetitic and hematitic actinolite-schists, have been derived from sediments which owe their origin essentially to chemical and organic agencies. In the Lake Superior region these schists constitute practically the whole of the belts of rock which bear

the rich deposits of iron. The original sediments were here essentially impure ferriferous carbonates — chiefly calcic, magnesic, and ferric carbonates—containing perhaps a considerable incidental admixture of silicious sediments. Much of the original carbonate still remains closely associated with the derived schists. The process of alteration was essentially one of silicification and replacement, with the incidental production of magnetite, hematite, tremolite, and actinolite, which assumed the schistose form. The details are varying and complex, and do not readily admit of brief description.*

This constitutes a fourth line of development of crystalline schists. It is found to have taken place most completely where the strata have been subjected to the greatest dynamic disturbance. Nevertheless, it is doubtful whether either the heat or pressure incident to disturbance was an essential factor in the change, since it is found to have been, in some cases, carried to considerable lengths where the strata remain still in an essentially horizontal position, as in the Animikie series. It appears rather to have been a purely metasomatic process; and the aid lent by dynamic forces may have been as much due to the mechanical condition afforded by fracture, tilting, &c., as to heat or pressure.

It has been satisfactorily determined that volcanic ashes, tuffs, and other igneous fragmentals have been converted into schists. The process appears to be in part like that of the change of arkose sandstones and graywackes, and in part like that of the conversion of massive eruptives into schists, and in part a combination of the two methods.

The origin of the great mass of schists yet undetermined.— Notwithstanding the important advances which have been made in tracing out the origin and the history of the development of the crystalline schists along the four lines of approach which have now been outlined, there still remains

* A description of the process, representing such knowledge as was then at command, has been published in the *American Journal of Science*, vol. xxxi., No. 190, pp. 225 to 272, October, 1886. Since then the changes have been traced out more fully, and they will be described in the Tenth Annual Report, of the United States Geological Survey.

a great mass of crystalline schists which cannot, with any degree of success, or even with theoretical probability, be referred specifically to either of these catagories, or to any other. In extent they exceed by many times those whose origins have been worked out. They embrace the granitoid gneisses, the highly banded gneisses, the hornblende-schists, and the greater mass of the micaceous, chloritic, and other schists, including an endless variety of intricate combinations and gradations. Still, the light of recent investigations affords some glimpses of the probable truth respecting the origin of some of these. It is highly probable that many of the granitoid gneisses are but phases of the massive eruptive granites. Their rough banded structure, due to the concentration of leading minerals along certain lines and the arrangement of the mica-leaves and hornblende-blades with their longer axes in a common direction, may be referred to dynamic influences either of the nature of pressure or of motion. It is also probable that some of the mica-schists, sericite-schists, and chlorite-schists were derived from acidic eruptives, and from volcanic tuffs. Many of the hornblende-gneisses, in the structure and association of the minerals present, are so close to unmistakable basic eruptives that they may plausibly be assumed to have been originally of that nature. Certain of the schists, especially some of the mica-schists, show apparent, though by no means demonstrative, traces of a fragmental origin.

These conjectures seem to be warranted by the investigations of recent years; but it is to be freely confessed that a great cloud of uncertainty hangs over the origin of the larger mass of the most perfectly crystallised and completely foliated of the schists, and the thought may be entertained that, important as have been the advances of recent years, the true history of the development of many of these may not have even hypothetically suggested itself to investigators.

Development of foliation and crystallisation in the several ancient groups of formations.—The great mass of the Keeweenawan group of the Lake Superior region is formed of rocks which are manifestly either simple clastics or massive eruptives. There are, however, certain quartzites and non-igneous feldspathic rocks that have become so indurated by

interstitial filling that they may be placed with the crystallines of clastic derivation. But none of them are foliated, and therefore they do not belong with the typical crystalline schists. The few quartzites of the series have been derived from quartzose sandstones by the deposition of interstitial silica building up the grains into a complete whole. The feldspathic rocks were originally arkose sandstones, which were converted into the compact crystalline form by the secondary growth of the original fragments of both feldspar and quartz.

The great group of the interstratified eruptive and detrital rocks of the Colorado Cañon region, known as the Grand Cañon series, are essentially like the Keeweenawan rocks. The most altered members are fragmentals, built up into indurated crystalline rocks by interstitial growth. The series appears to contain no true crystalline schists.

A like statement may be made, with apparent safety, of the Llano series of Texas, and of the post-Laurentian, and probably pre-Cambrian, indurated series of Newfoundland, though our information does not warrant positive assertion.

The Huronian group of the Great Lake region includes rocks which belong to the true crystalline schists, but the larger part of the series is to be classed with the second-growth clastic crystallines. Logan's original Huronian, with the exception of about 1,000 feet, consists of a great thickness of clastic rocks, comprising "quartzites," "red-jasper conglomerates," and "slate-conglomerates." The 1,000 feet constitute a doubtful exception, the material being chert and limestone, in the production of which chemical, organic, and clastic agencies played undetermined parts. The "red-jasper conglomerates" have quartzites for their essential ingredient. The "slate-conglomerates" are quite frequently non-conglomeratic over considerable areas, in which cases the rocks become typical graywackes and graywacke-slates. The great mass of the crystalline rocks of clastic derivation of the original Huronian lacks a foliated texture, and therefore cannot be classed with the crystalline schists. A critical study of them in the field and with the microscope proves beyond question that they are merely consolidated fragmental rocks, the induration of which is

due to interstitial filling, or secondary growth. The old fragmental quartz-particles of the original sandstone retain their outlines, although they have generally rebuilt themselves by subordinated additions. In general, the same is true of the feldspar fragments, although at times an alteration has taken place which has obliterated the outlines of the original fragments, and, in some instances, there has been a metasomatic change of the feldspar into mica, hornblende, &c., as elsewhere noted.

What is true of the Huronian rocks of the original area, north of Lake Huron, is also true of the greater portion of the rocks classified by us as Huronian in Michigan, Minnesota, Iowa, Wisconsin; and also in all areas known to us in Canada, which would be classed by us as Huronian, such, for instance, as the Animikie series.* The indurated clastic rocks of these areas are the petrographic parallels of the indurated clastic rocks of the original Huronian. They include great masses of quartzites, graywacke and graywacke slates, which, in all essential respects, are like the quartzites and slate-conglomerates of the original Huronian. So far as known to us, a like statement may be made as to the character of the analogous rocks of the pre-Grand-Cañon group of the Colorado Cañon.

While these clastic-derived crystalline rocks constitute the great mass of the indurated members of the Huronian group—setting aside, of course, the undoubted massive eruptive rocks—there are included among them genuine crystalline schists. These schists, so far as known to us, are of three classes: (1) the mica-schists, (2) the schists of the iron-bearing belt, and (3) those which may best be grouped under the somewhat vague term "greenschists."

These constitute the schists concerning whose origin most has been determined. A portion of the least foliated mica-schists have been proved to be modified fragmentals, and it is strongly suspected that all of the foliated mica-schists of the Huronian group are of like nature. It has been shown that the mica and the associated crystalline

* To avoid misunderstanding it is to be borne in mind that the official Canadian geologists refer to the Huronian group extensive tracts of schists not embraced in this statement.

minerals have been developed from the fragmental feldspathic particles of the original arkose sandstones by metasomatic process, and there is no reason to believe that unusual conditions of heat, moisture, or pressure were essential agencies in the change; indeed, all the inherent evidence confirms the impression that the change was a secular process, progressing quite independently of the exceptional conditions. All the schists of the iron-bearing member of the Huronian group, in the narrower limitations of that member, are now known to have been original sediments precipitated by chemical and organic agencies, with coincident clastic aid. The greenschists have been derived by modifications of original eruptives, and present a degradational development, which may be looked upon as offering a contrast to the constructive development of the crystallines built up from clastic originals.

In the great Laurentian series we have the chief home of the crystalline schists. This terrane in America is widespread, including immense areas along the Appalachean belt, in the Mississipi valley, and in the western mountain region, and, still more notably, in the immense crystalline tracts of Canada. The schists which, together with the massive crystalline rocks, make up the Laurentian system, consist chiefly of gneisses, mica-schists, hornblende-schists, chlorite-schists, &c., and the various intermediate phases which link these into an almost continuous series. Concerning the origin of these completely crystalline, and, in the highest sense, typical schists, our knowledge is the most limited. Indeed it may be said that the history of their development is almost wholly unknown. Here and there small areas may, with some probability, be said to have been fragmental or eruptive in original condition, but, for the great mass, no trustworthy evidence of the source of derivation, or the condition of production, has yet been discovered. It has been suggested by Bonney and by Irving, that the conditions under which the Laurentian crystalline schists were formed have never been reproduced in later geologic times: a suggestion which appears to be pregnant with working hypotheses. It may also be suggested that the conditions of origin may have involved profounder subterranean depths

than those of the foregoing formations, and correspondingly more intense conditions of temperature, pressure, and plasticity. The great denudation they have universally suffered renders this not improbable. But we must frankly confess that it is not at all impossible that the manner in which many of these classes of rocks were produced may be of a nature which has not, at the present time, even suggested itself definitely to the human mind.

It remains a mooted question whether there are any true crystalline schists of regional extent in the United States among the Cambrian and later geological formations. Within the range of our observation the most of the crystalline rocks which can certainly be referred to the Cambrian and later geologic times, are either determinable eruptives, or are merely of the interstitially indurated type. They lack a foliated structure, and can easily be traced to their original condition.

Gathering results together, it appears that crystalline schists have been developed from different sources and by different processes, and may be genetically grouped into the following classes :—

1. *Eruptive-derived* (*metamorphic*) *crystalline schists*, which were developed from massive eruptives by dynamic agencies, and may therefore be designated metamorphic schists in the old sense, but with a new application.

2. *Tuff-derived crystalline schists*, which were developed from igneo-fragmental material under conditions which may be identical with the preceding or with the succeeding.

3. *Clastic-derived* (*second growth*) *crystalline schists*, which were developed from fragmental rocks by secondary growths of the constituent crystalline fragments with presumably attendant dynamic conditions which determined a dominance of the growth in nearly parallel planes, resulting in a schistose structure, the process being a simple crystalline growth under parallelizing influences.

4. *Clastic-derived* (*metasomatic*) *crystalline schists*, which were developed from fragmental rocks by the conversion of the constituent silicate fragments into foliated minerals, such as mica, chlorite, &c., a true metasomatic process.

5. *Chemico-clastic-derived* (*metasomatic*) *crystalline schists*,

which were developed from sediments in whose production chemical, organic and clastic agencies joined, and which underwent processes of disintegration, displacement, silicification and re-crystallisation, resulting in banded and schistose rocks.

It remains, however, that the great mass of known crystalline schists yet await genetic elucidation, and may as plausibly be referred to other agencies and conditions as to these.

(c.)—The Crystalline Schists of the Coast Ranges of California.

By

George F. Becker.

In the course of an investigation of the geology of the quicksilver ore-deposits of the Pacific Slope, the character and origin of the rocks of the Coast Ranges have been studied at numerous points between Clear Lake and San Luis Obispo, a distance of 300 miles. The greater part of the more ancient rocks in this region have assumed a crystalline texture; and a very moderate estimate of the actual exposure of such material in this area is 3,000 square miles. In addition it is known that similar rocks underlie large areas of unmodified beds of late Cretaceous and Tertiary age. The phenomenon is thus certainly a regional one.

The character of the crystalline rocks of this area is varied, and it is both necessary and easy to distinguish among them several lithological groups; and yet, in a sense, these rocks show great regularity, since in most areas of a few square miles in extent all the important lithological varieties are to be found. Consequently the examination of a limited area in one portion of the ranges yields substantially the same results as studies in another. It is not necessary

to leave the slopes of Monte Diablo to obtain evidence of almost every point elucidated in the entire investigation of these rocks, and such a study could be equally well carried out at Knoxville or at any one of various other localities. This repetition of the same set of variations in many districts, of course, greatly facilitates the investigation, because the relations suggested in one district can be put to the proof in others as often as may be desired.

Crystalline schists form one group among the crystalline rocks of the Coast Ranges, and these schists recur with frequency in all the areas examined. I am not acquainted, however, with any locality in which areas of many square miles are composed of these schists to the exclusion of other crystalline rocks. In most areas the different lithological varieties of the crystalline series are mingled in the most disorderly manner, and the only variety which I have met with in large unbroken areas is serpentine. Even this is an exceptional case, serpentine usually occurring interspersed through areas of other members of the series. The schists commonly form a subordinate though by no means an insignificant portion of the entire mass of crystalline rocks. They do not occupy any recognizably peculiar stratigraphical position in the series, and though, so far as is known, the areas of schist are never large, one is never, in a crystalline region, far from some mass of these rocks.

These conditions are very different from those which prevail in most Pre-Cambrian areas, and many other differences are disclosed by further study of these rocks. It is therefore very far from certain that there is any community of origin or history between the crystalline schists of the Coast Ranges and those of the Laurentian. But even if it could be demonstrated that the origin and history of the two series had nothing in common, it would be interesting to observe that rocks of similar structure and composition could be produced by dissimilar methods. It may be regarded as certain that there are cases in which rocks that resemble one another have different origins; for, apart from direct proof of special instances of this kind, it is established that each of the chief rock-forming minerals is formed under very diverse conditions, and it is but a short step to the conclusion that

mixtures of these minerals must also be capable of formation under widely different circumstances.

The crystalline schists discovered in the portion of the Coast Ranges between Clear Lake and San Luis Obispo are nearly all glaucophane rocks, very similar to some specimens from Syra in Greece. In all cases biotite or muscovite is also present, and quartz and feldspar are important constituents. In most cases the feldspars are triclinic, but in some of them orthoclase is present. Zoisite is abundant in most of these schists; indeed, it seems to be absent from but one of the specimens collected, and as subordinate constituents garnets, titanites, zircons, and other minerals have been observed. The relations of the zoisite are noteworthy, inasmuch as this mineral does not represent a decomposition process, as it usually does in eruptive rocks, but is a constituent of origin coeval with that of the glaucophane, quartz, and feldspar. It is intergrown with perfectly unaltered individuals of these minerals, from which it can be separated for analysis only with the greatest difficulty. The schistose character of this rock is due to the approximate parallelism of a majority of the mica-foils and glaucophane-prisms.

There are abundant transitions between these schists and the granular crystalline rocks. In the latter glaucophane often accompanies hornblende, actinolite, and augite. Zoisite is also abundant in the granular rocks, and in them too it plays the part of an original constituent, not of a decomposition product.

The origin and history of the schistose rocks is similar to and inseparable from that of the granular series. Both groups are intimately associated with unaltered and slightly altered sedimentary rocks. Among these last arkose-sandstone is much the most abundant, but it is accompanied by shales and by small quantities of limestone. Where the Tertiary and late Cretaceous rocks are absent, the areas are occupied in most cases by crystalline rocks accompanied by relatively small quantities of the clastic beds. Between these clastic and crystalline rocks there exist innumerable transitions of every conceivable variety. There are cases in which the clastic structure is still traceable in the thoroughly

crystalline masses, and others which, with the unaided eye, would be classified as very slightly modified sediments, but which turn out, under the microscope, to be so completely crystalline as to retain none of the micro-structure of a detrital accumulation. In very many of the partially altered rocks the process of transformation may be studied. Hornblende, augite, zoisite, and feldspars may be observed in process of formation from the clastic grains under various conditions, often as sharply developed microlites, which could not possibly bear transportation as discrete particles; and the corrosion of the parent grains by the parasitic microlites can be studied *ad libitum.* Macroscopically, too, one may often see cases in which transformation has taken place from cracks in a sedimentary mass, a kernel of unquestionably clastic character remaining in concentric envelopes which are thoroughly crystalline. In addition to the lithological transitions observed macroscopically and microscopically, not at one locality, but in every district and at numerous points in each, there is excellent stratigraphical evidence of the derivation of the crystalline from the clastic rocks. One side of an anticlinal fold may be found converted into crystalline rocks while the other is unaltered. Masses of beds which are unchanged, or changed only to an insignificant extent, and which have a nearly vertical dip, are surrounded by crystalline rocks in such a way as to preclude any hypothesis but that they represent remnants of the original mass; and often granular rocks are intermingled with fossiliferous silicified schists.

Were it not for the presence of zoisite in the crystalline rocks as an original constituent, coeval with the quartz, feldspar, and ferromagnesian silicates, many hand specimens of these rocks might be regarded as eruptive; and in some rare cases in which zoisite does not appear in the thin sections the resemblance to true eruptive diasbases or gabbros seems perfect. A special re-examination in the field was made of these cases, and it was found in each that the pseudo-eruptive rocks passed over by transitions into manifestly metamorphic material, usually within a few inches of the spot at which the specimen was collected. The crystalline series with its accompanying sedimentary rocks include, so far as is known,

between Clear Lake and San Luis Obispo no eruptive rocks, if one excepts the Pliocene and post-Pliocene lavas which at some points have broken through them. Peridotites and other ancient eruptives are common in the Sierra Nevada and in the neighbourhood of Mt. Shasta; but not a trace of them has been detected in the central portion of the Coast Ranges indicated above. The schists forming a subordinate portion of the entire crystalline mass, transitions from them into unaltered sediments are not very plentiful. Such transitions occur, however, at a number of points, and show that the schistosity is an original characteristic, preserved in spite of transformation. The development of mica and glaucophane has taken place chiefly in the original planes of bedding.

The age of the rocks under discussion is determined at a considerable number of localities scattered along the entire length of this region—300 miles. Fossils have been found in the less altered beds in eight of the counties of this area, and in all cases the organic remains include *Aucella*, a shell which is either Jurassic or Neocomian. In Dr. C. A. White's opinion this and the other fossils found indicate the early Cretaceous for the California rocks. The same fossil has been found in the Gold Belt on the western slope of the Sierra Nevada in two counties, and there also in partially metamorphosed beds similar to those which are abundant on the Coast Ranges.*

The identification of the crystalline rocks of the Coast Ranges (the lavas excepted) as altered sediments of Cretaceous age does not rest upon the assertion of myself and my assistants alone. Messrs. Whitney, Gabb, and King expressed themselves unhesitatingly of this opinion from field observation alone: and Dr. White, while examining certain paleontological questions for me, was entirely convinced of the passage of the fossiliferous beds into the crystalline rocks. It may safely be predicted that no geologist who does detailed field work in this area can fail to come to this conclusion.

Soon after the Aucella-bearing beds of the Coast Ranges were laid down, a great upheaval of this area took place. It

* The discovery of these fossils in Tuolumne county is now published for the first time.

is certain that the sediments were converted into crystalline masses nearly at this same time, and there is every reason to suppose that the two events were contemporaneous. The upheaval was one of great violence. The crushing of the rocks was so thorough that the unfissured masses remaining throughout the entire area of the crystalline rocks are certainly on the average smaller than a hen's egg. The greater part of the rocks were reduced to a mere rubble, and it is seldom that a stratum can be followed for more than a few feet. Among the silicified shales one can occasionally trace a small group of beds for one or two hundred feet; but these rocks, too, have been intensely crushed, and the continuity can only be made out when a relatively small displacement of the fragments has taken place, followed by recementation. The network of fissures in the silicified shales is ordinarily so close and fine that a portion of it is visible only with the microscope. I have not met with a single area among the metamorphic rocks in which it would be possible to construct a stratigraphical section for a length of 500 feet.

The areas of intense disturbance, and the areas in which the rocks are converted into crystalline masses, accurately coincide. Unfissured masses of considerable size never show any notable alteration; and where crushing has occurred more or less re-crystallization always seems to have followed. This is no doubt in part due to the fact that the magnesian solutions by which the metasomatosis of the rocks must have been effected, followed the fissures. But the amount of energy dissipated during the comminution of the rocks must have been astounding. There must have been some rise of temperature, and it seems difficult to suppose this rise inconsiderable. The attempt may have been made to explain too much by Mallet's hypothesis, but it would seem to me a great mistake to suppose that the liberation of heat by mechanical action was without influence on geological phenomena. In the coast ranges the dissipation of energy is proved by the comminution of the rocks. Had these been covered by masses so heavy that the material would have flowed without rupture, the evidence of the dissipation would not remain in so clear a manner; but the same quantity of heat might nevertheless

have been set free. It is not improbable, therefore, that there are other areas where heat of this origin has played as great a part as in these ranges.

The crystalline schists of the Coast Ranges, then, are not themselves of regional extent, but they are inextricably mingled with allied crystalline rocks which cover thousands of square miles. A great portion of these rocks, and, so far as can be determined, all of them, were laid down as sediments during the Neocomian. Soon afterwards they were upheaved with extraordinary violence, and were subjected to the action of magnesian solutions, probably at temperatures somewhat above the average and perhaps approaching the boiling point. By metasomatism thus induced they were in large part converted into holo-crystalline masses, in which no remnant of clastic structure is visible. No eruptive action can have contributed essentially to this result, for no single case is yet known in which eruptive phenomena accompanied this upheaval or the metasomatosis.*

(*a*.)—The Crystalline Rocks of Northern California and Southern Oregon.

By

Captain C. E. Dutton.

The rocks to be briefly remarked upon here have not as yet been thoroughly studied, and the general facts concerning their nature, origin, and ages which have thus far been established are comparatively few. They embrace among them large masses of unusual character and of singular con-

* The crystalline rocks of the Coast Ranges are fully discussed in Monograph XIII. of the United States Geological Survey, which is in type, and which it is hoped will soon be ready for distribution. Preliminary notices have appeared in *Bull. U.S. Geol. Survey*, No. 19, 1885; and in *Am. Journ. Sci.*, vol. xxxi., pp. 348–357, 1886.

stitution, though the principal portions of them are of the same general nature as those which occur in other localities.

The fields of crystalline rocks which have come under my own observation are those lying in the northern end of the Sierra Nevada and northward of Lassen Peak, in the middle drainage of the Pit and St. Cloud rivers; in the complicated and rugged group of coast ranges which lie west of the Upper Sacramento and Shasta valleys; in the lower drainage of the Klamath river; and at many isolated localities in south-western Oregon. The rocks of peculiar character occur, so far as observed, only in the Coast Ranges west of Shasta Valley. The remaining portion of the belt in which crystalline rocks are disclosed is a continuation to the north-westward of the remarkable masses of metamorphic slates and schists which constitute the principal bulk of the Sierra platform. These rocks are in greatest part overlaid and concealed by Cenozoic and recent eruptives, and also by deposits of Cretaceous and Cenozoic age. Still, the areas over which they form the surface rocks are collectively quite extensive, and there is little room for doubt that beneath the lavas and sediments of younger age they form the continuous floor upon which these lavas and sediments have been spread.

No rocks of Archæan age are known in this region, though, as the ages of some of them are wholly unknown, they may be Archæan, but this is very improbable. The great bulk of these crystalline masses consists of metamorphosed "slates" and shales, whose ages have seldom been determined, though portions of them contain large lenticular masses of limestone with an abundant and thoroughly characteristic array of Carboniferous fossils. The beds which enclose those limestones have undergone varying degrees of alteration from the state of shales and impure argillites, with incipient crystallization, to the most thoroughly crystalline, chloritic, sericitic, micaceous, and hornblendic schists. There is a wide range of constitution among the component beds, some being indistinguishable from common gneisses, while others are dark-green chloritic schists. All of them are much plicated and folded by dynamic action.

The metamorphic character of these strata cannot be

doubted. All possible transitions may be found, from beds showing but little alteration to beds most thoroughly crystalline, but still preserving all the characteristics of foliation and structure seen in the unaltered beds. The more profoundly altered beds are seen to be interstratified with the less altered. Bands of limestone, and occasionally large bodies two or three hundred feet in thickness, are also intercalated among them. Nor are volcanic sheets of ancient date wanting in the series. Numerous masses of peridotite occur, which appear in most cases to be contemporaneous with the clastic strata which include them; they are frequently changed, partially or wholly, into serpentine. It is from these masses that the principal bulk of the northern Sierra platform is composed.

In the Coast Range west of Mt. Shasta rocks of similar character occur, but with them are commingled in dire confusion rocks of singular character. Perhaps the most striking of these is a rock in which zoisite appears to perform the *rôle* of both feldspar and base. Large crystals of amphibole (smaragdite?) are abundantly included in the white zoisite. These crystals, always large, frequently become gigantic. Very nearly as conspicuous are great masses of a porphyritic rock, including large and perfectly developed crystals of feldspar, chiefly of the triclinic varieties, the whole resembling the more extreme forms of laccolitic rocks, the habitus of which is now recognised as being very distinctive. But these porphyries have been altered by metasomatic changes, the nature of which has not been at the present time elucidated. Many masses of peridotite are also found, and these are generally much altered, and often completely changed into a greenish-black serpentine. Beds of ancient basalt are also found intermingled with the metamorphics.

The original structure of these beds has been obscured and almost obliterated by the extreme contortion and crushing to which they have been subjected. A more perfect chaos it is hard to conceive. The dynamic action here has produced extreme results, and it is impossible to trace any continuity in the various beds beyond one or two hundred feet.

Concerning the ages of the crystalline rocks of Northern

California and Southern Oregon there is little that can be said at present. They are found both above and below the Carboniferous limestone. The masses are many thousands of feet in thickness. The older ones may be of early Paleozoic or even of pre-Cambrian age; while the younger ones may be as young as the Jurassic, but are certainly not younger, for the Cretaceous series in this region does not admit of doubt, while its beds are always of a different character. On the other hand, the entire period may be limited to a much smaller range of time than the foregoing. The only horizon which has been identified within the series is the upper Carboniferous limestone. Such limestones are disclosed in very many places throughout the metamorphic areas in such a way as to indicate with certainty that some of the beds in which they are included are older and some are younger. The limiting ages of the series are as yet quite indeterminable.

EINIGE FRAGEN ZUR LÖSUNG DES PROBLEMS DER KRYSTALLINISCHEN SCHIEFER, NEBST BEITRÄGEN ZU DEREN BEANTWORTUNG AUS DEM PALÄOZOICUM.

Von

Prof. Dr. K. A. Lossen.

Das Problem der „Krystallinischen Schiefer“ bietet noch so viele ungelöste Schwierigkeiten dar, die Anschauungen der heute lebenden und lehrenden Fachgenossen divergiren hierin noch so ausserordentlich, dass ein Versuch zur Einigung über alle Differenzpunkte zur Zeit als verfrüht gelten muss. Das schliesst aber gewiss nicht aus, dass man gemeinsam darüber berathe, die Beobachtungen gegenseitig austausche und feste Punkte zu gewinnen suche, von denen aus eine dereinstige Lösung angestrebt werden kann. Je nach ihrem besonderen Erfahrungsstandpunkte werden die einzelnen Geologen in verschiedener Weise an eine solche Berathung herantreten.

Ich kann nur Erfahrung geltend machen aus den metamorphischen krystallinischen Schiefern der *paläozoischen* Formationen, die als Contactmetamorphosen oder Dislocations- (Dynamo-) Metamorphosen entweder von Eruptivgesteinen oder von Schichtgesteinen (Tuffe eingeschlossen) erwiesen sind.* Eine *directe* Anwendung dieses Erfahrungs-

* Vergl. u. a.: Studien an metamorphischen Eruptiv- und Sedimentgesteinen, erläutert an mikroskopischen Bildern I. u. II. (Forts. folgt), sowie: Ueber das Auftreten metamorphischer Gesteine in den alten paläozoischen Gebirgskernen von den Ardennen bis zum Altvatergebirge und über den Zusammenhang dieses Auftretens mit der Faltenverbiegung (Torsion). Jahrb. d. kgl. preuss. geol. Landesanstalt für 1883 u. 1884.

standpunktes auf *alle* archäischen krystallinischen Schiefer scheint mir verfrüht, d. h. annoch mehr thema probandum als probatum. Es giebt wohl Fälle, wie z. B. die sogenannten Flasergabbros oder Zobtenite, welche ganz analog der Umwandlung der Diabase im Paläozoicum aufgefasst werden zu müssen scheinen. Teall hat ja in ganz vortrefflicher Weise in den Lizard-Gabbros, Williams in den Baltimore-Gabbros, Hans H. Reusch in norwegischen Vorkommen wesentlich dieselben Grundzüge der Entstehung nachgewiesen, wie Joh. Lehmann sie für die sächsischen „Flasergabbros" dargethan hat. Aber Hans H. Reusch spricht doch auch von *geschichteten Gabbros** neben eruptiven Flasergabbros im Gegensatz zu Lehmann, und Credner und Roth scheinen weit davon entfernt zuzugeben, was in Lehmann's Buch enthalten ist. Dabei bleibt freilich der fundamentale Unterschied zu beachten: Lehmann hält die archäischen Schiefer zur Hälfte für metamorphosirte Sedimente, zur Hälfte für metamorphosirte zwischengelagerte oder zwischengepresste Eruptivgesteine und, wenn ich auch nicht in allem Detail Lehmann beipflichten oder folgen kann, vor Allem die umgewandelten Tuffe mehr betone, so kann ich ihm *generell* in dieser Auffassung nur beitreten. Roth dagegen hält alle krystallinischen Schiefer des Archaicums — Kalksteine, Quarzit, Gneiss, Glimmerschiefer, Amphibolit, etc. — für *schiefrige plutonische* (nur nicht der Form nach eruptive) Gesteine (Erstarrungskruste); Credner endlich hält die Mehrzahl der krystallinischen Schiefer, einschliesslich des Granitgneiss und Flasergabbro, für die *normalen geschichteten* Sedimente des Uroceans, deren krystallinische Beschaffenheit ihr Wesen nicht dem Metamorphismus verdankt.

Ich habe bezüglich dieses einen Punktes absichtlich ausführlich geschrieben, um darzuthun, dass selbst diejenigen Fragen aus dem Gebiet der archäischen Schiefer, welche

* Das Wort Gabbro etwas weit fassend; jetzt sagt er "dioritic rock," "altered gabbro and diabase." Im Harz bietet das interessante Gabbro-Gebiet von Harzburg unter den zahlreichen Varietäten auch solche welche lagenweise alternirend plagioklas- und diallag- (bronzit-) reicher oder durch Biotit flasrig sind und darnach *schichtenähnliche*, aber *nicht geschichtete* Parallelstructur besitzen. Es sind dies echte Eruptiv-Gabbros.

auf Grund der *ganz unzweifelhaften Pseudomorphosen* (Hornblende nach Diallag, Hypersthen, Augit; Zoisit, Epidot, Aktinolith, Quarz, Albit nach Kalknatronfeldspath) und auf Grund des Nachweises der *ursprünglichen Eruptivgesteins-Structur* gelöst werden können, immer noch Gegenstand zahlreicher Controversen sind. Dieses thatsächliche Verhalten und die Schwierigkeit die eigne beste Erfahrung des einen Geologen und Mikroskopikers auf den anderen Fachgenossen als ein ebenso überzeugungskräftig innewohnendes Eigenthum zu übertragen, machen es wahrscheinlich, dass die Discussion über so delicate Fragen leicht sehr grosse, unabsehbare Dimension annehmen kann, falls der Austausch zunächst nicht auf *bestimmte* Fragen beschränkt oder Resolutionen, welche der Congress bezüglich des Studiums der krystallinischen Schiefer fasst, nicht vorher wohl erwogen werden.

Mein Standpunkt ist unverrückt der, welchen schon Karl Friedr. Naumann in seiner Weise formulirt hat: *Es gilt mir vor allen Dingen die substanzielle und structurelle Metamorphose der versteinerungsführenden Sedimente und der darin eingeschalteten Eruptivgesteine nebst deren Tuffen zu studiren.* Dieser Weg führt vom Bekannten zum Unbekannten. Vieles ist daran schon gethan, namentlich auf dem Gebiet des Contactmetamorphismus, das sich schärfer abgrenzt als das des regionalen oder Dislocations- (Dynamo-) Metamorphismus. Es bleibt aber noch unendlich viel zu beantworten; zumal die Primärstructuren ursprünglich schiefrigflasriger Eruptivgesteine, die Structur und Substanz gewisser sehr häufigen Sedimente, z. B. der Grauwacken, der sogenannten Grauwackenschiefer oder der allermeisten Tuffe sind noch zu wenig bekannt, um schon sichere Grundlagen für das Studium der Umbildungsprocesse zu gewähren.

Immerhin wäre die eingehende Beantwortung der Frage:

1. Welche substanzielle Uebereinstimmung oder Verschiedenheit besteht zwischen den Resultaten der Contacteinwirkung der Granite auf versteinerungsführende Sedimente und darin eingeschaltete Eruptivgesteine einerseits, und zwischen archäischen Schiefern andererseits? heute gewiss

schon von nicht geringem Belang für das Studium der archäischen Schiefer.

Der *Harz* als ein aus paläozoischen versteinerungsführenden Sedimenten und mannigfaltigen Eruptivgesteinen zusammengesetztes, bereits zur Zeit der productiven Steinkohlenformation fertig gefaltetes Kerngebirge von mittlerem Erdkrustendurchschnitt, d. h. ohne Axe krystallinischer Schiefer aber mit relativ tief zwischen die hoch aufgepressten Plutonite (Granit, Gabbro, etc.) eingesunkenen Schichten (nebst Diabasen, Keratophyren und zugehörigen Tuffen), bietet für einem solchen Vergleich lehrreiche Data. Die *Contacthöfe um Gabbro und Granit* bergen an authigenen *Mineralien*: Quarz, Orthoklas, Albit, Plagioklas, Biotit, Muscovit, Hornblende, Aktinolith, Augit, Bronzit, Chlorit, Epidot, Granat, Vesuvian, Turmalin, Axinit, Wollastonit, Dichroit, Titanit, Spinell, Andalusit, Rutil, Magnetit, Hämatit, titanhaltiges Eisenerz, Magnetkies (Pyrrothin) undandere Schwefelerze, Calcit, Fluorit, Apatit, wozu die fortgesetzte Untersuchung local leicht noch andere, z. B. Anatas, Zoisit, Lithionit, Lepidolith, Korund, Sillimanit, Cyanit, Graphit fügen kann, wie denn die vier letztgenannten Mineralien bereits aus solchen Mineralgruppirungen in postgranitischen Eruptivganggesteinen des Harzes bekannt sind, welche auf metamorphische Einwirkung zurückzuführen sein dürften.— Aber nicht nur *diese Mineralien zeigen grosse Uebereinstimmung mit den am häufigsten in archäischen krystallinen Schiefern verbreiteten*, auch *ihr Zusammentreten zu bestimmten Mineralaggregationen und Gesteinen bietet eine solche Analogie in hohem Maasse dar:* Den *normalen Gneissen*, wie solche in mannigfacher Structurausbildung im Contact mit Granit und Gabbro aus den *Oberharzer Culmgrauwacken- und Grauwackenschiefern* hervorgehen, finden sich *Dichroit- und Granatgneisse* auch *augit- resp. bronzit-haltige Gneisse* als Umwandlungsproducte mehr *schiefriger oder kalkig schiefriger Sedimente* zwischengelagert; *zuckerkörnige Quarzite* entstammen sehr deutlich aus der Umkrystallisirung der *culmischen oder devonischen Kieselschiefer* (*Lydite*) und sind recht schwer zu unterscheiden von den ebenfalls vorhandenen Contactmetamorphosen der fast reinen *Quarzsandsteine* mit Quarzcement (Quarzitsandsteine); an Stelle des *Glimmerschiefers* und

Phyllits treten die structurell abweichenden, doch substanziel übereinstimmenden, örtlich Granat, Amphibol, Augit resp. Bronzit, Schörl, Andalusit, Apatit, aber auch Orthoklas und Plagioklas führenden *Hornfelse* (*Cornéenne*); die geringmächtigen *Kalkstein-Einlagerungen im Unterdevon* (*Hercyn*), *Oberdevon und Culm* sind theils zu granatreichen oder andere verwandte Silicate, Vesuvian, Epidot, Malakolith, Dichroit, Amphibol, Titanit, etc., örtlich aber auch Fluorit oder Axinit führenden, dichten bis deutlich krystallinischen „ *Kalksilicat-Hornfelsen,*“ entsprechend den Granatfelsen, Epidotfelsen, Pyroxeniten, Eklogiten, Erlanfelsen des Archaicums, metamorphosirt, theils sind dieselben *marmorisirt*, dabei aber fast stets von Granat oder anderen Silicaten, local auch von Erzen imprägnirt, auch Anthrakonit fehlt in dem sonst oft reineren weisseren Marmor nicht ganz; *Amphibolite* sind z. Th. ebenfalls auf *kalkige Sedimente* zurückzuführen, die wesentlick feldspath- (plagioklas-) haltigen darunter aber sehr deutlich als *Contactmetamorphosen der mit den Schichten gemeinsam gefalteten und metamorphosirten antegranitischen devonischen oder culmischen Diabase* nachzuweisen. Ferner giebt es auch sehr *biotitreiche Umwandlungsproducte des Diabas* im Granitcontact oder Gabbrocontact und auch andere antegranitische Eruptivmassen wie die *Augitkeratophyre* und *Augitorthophyre* zeigen unter Rekrystallisation des Orthoklases und eines Theils des Augits grossen Reichthum an Biotit, der sichtlich auf Kosten eines dem Augit oder primärer Hornblende entstammenden Chloritgehalts entstanden ist. Schiefrige Gesteine mit solchem Biotit-Reichthum, welche örtlich zwischen den vorherrschenden massigen nicht fehlen, sehen geradezu wie eine Art *Glimmerschiefer* (mit Granatgehalt) aus.—In den *Porphyroiden des Harzes*, die sowohl innerhalb als ausserhalb der Contacthöfe vorkommen, und welche ich von meinem heutigen Erfahrungsstandpunkte aus grösstentheils als *metamorphosirte antegranitische Quarzkeratophyr- und Quarzporphyrtuffe* ansehe, ist dagegen vorzugsweise *sericitischer Muscovit* daheim, ausserhalb des Contacthofs bis zur Herausbildung von sehr schiefrigen Sericitgesteinen, die hier andererseits aber auch aus den porphyrischen Massengesteinen selbst nachweislich hervorgehen. Zu den Tuffen der Orthophyre, Keratophyre oder Quarzkeratophyre

stehen auch vielleicht gewisse sehr *orthoklasreiche Hornfelse* in Beziehung, welche mit den Devon- und Culmkieselschiefern im Granitcontact vorkommen (Adinolaequivalente ?).

Einige andere Fragen wären :—

2. Welche Unterschiede bestehen in der *Krystallisationszeitfolge* der Mineralien, welche Granite, Quarzdiorite, Gabbros, Diabase, kurz holo- und phanerokrystalline Eruptivgesteine zusammensetzen, und derjenigen der Mineralien der krystallinischen Neubildungen in den Contactmetamorphosen dieser Eruptivgesteine ?

Diese Frage würde um so vorsichtiger zu beantworten sein, als trotz des reichen, ganz vorzugsweise durch H. Rosenbusch gesammelten und in geistvoller Weise dem wissenschaftlichen Publicum dargebotenen Erfahrungsmaterials die Krystallisationszeitfolge der Mineralien der Erstarrungsgesteine (Eruptivgesteine) noch nicht ganz sicher festgestellt ist; eine Gesetzmässigkeit bis zu einem gewissen Grade ist ganz unverkennbar, aber einmal ist, wie besonders Lagorio nachgewiesen hat, die chemische Regel eine verschlungenere, als die Rosenbusch'sche Reihung angiebt, sodann ändert sich unter abweichenden physikalischen Erstarrungsbedingungen ganz zuverlässig die Reihenfolge (cf. Granit und Pegmatit).

3. Ist Diabas- (Ophit-) Structur unter allen Umständen eine Eruptivgesteins-Structur, oder giebt es unzweifelhafte krystallinische Sedimentgesteine von gleicher Structur ?

4. Schriftgranit ist als Mikro- und Makropegmatit sehr häufig als integrirender Bestandtheil echter Eruptivgesteine, besonders der Granite und ihrer porphyrischen Facies nachgewiesen worden. Da in Gneiss-Gebieten Schriftgranit eine sehr häufige Erscheinung ist, bleibt die Frage zu beantworten, ob derselbe auch hier als echter Eruptivgranit aufgefasst werden darf, oder ob ein stichhaltiger Beweis dafür erbracht werden kann, solche Bildungen seien thermischer Entstehung oder gar Lateralsecretionen im Sinne der Auslaugung des Nebengesteins ?

Wenn man auch zugeben wollte, was doch in so allgemeiner Weise erst eines bündigen Erfahrungsbeweises bedürfte, dass alle Mineralien je nach den Umständen auf dem Wege der Erstarrung, der Ausscheidung aus wässeriger Lösung

oder der Sublimation enstehen können, so dürfte meines Erachtens daraus doch niemals gefolgert werden, dass auch alle Structuren, welche Mineralien zu gesetzmässiger Aggregation verbinden, ebenso auf diesen drei Bildungswegen hervorgerufen werden können. Mir scheint vielmehr, man müsse solche Structuren, wie z. B. die diabasische (ophitische) oder pegmatitische (zu geschweigen von den Glas oder Basis im Gefüge aufweisenden Structuren), welche als *charakteristisch für notorische Erstarrungsgesteine erwiesen sind, so lange als beweisend für eine Entstehung auf dem Wege des Festwerdens aus magmatischem Zustande halten, als nicht zwingende Gegenbeweise vorliegen.* Dass *Diabas- oder Ophitstructur* sedimentären Ursprungs sein könne, hat meines Wissens noch Niemand behauptet, wohl aber hat man Gabbros ungeachtet der nahen Verwandtschaft ihrer Structur mit derjenigen des Diabas als Sedimente angesprochen, zu Unrecht, wie ich glaube.

Etwas anders liegt der Fall bezüglich des *Schriftgranits oder Makropegmatits :*

Das häufige Vorkommen solcher Massen im Gneiss hat geradezu die Vorstellung erweckt, als seien dieselben integrirende Bestandtheile des *sedimentären* Gneisses (für J. Roth's Auffasung des Archaicums als plutonische Erstarrungskruste sind unsere Erörterungen überflüssig). Und zwar macht man diese Vorstellung geltend, obwohl ein guter Theil dieser pegmatitischen Massen ganz sichtlich Hohlräume gangartiger Natur erfüllt, während ein anderer Theil Linsen zusammensetzt, welche mehr oder weniger dem Fallen und Streichen der Schiefer folgen. Das Vorkommen von einfachen Quarz-Feldspath-Aggregaten, die *thermischer* Entstehung sind, muss nach den Erfahrungen des regionalen und des Contactmetamorphismus denn auch unbedingt zugestanden werden, während das Fehlen solcher Aggregate in den Grauwacken mir einer Entstehung durch Lateralsecretion schlechthin zu widersprechen scheint. Es wäre also am Ende nicht undenkbar, dass auch pegmatitische Aggregate als mit dem Mineralaggregat des Gneisses *congenetische* oder *Primärtrümer* (Trum=kleiner Gang), so zu sagen der Quintextract des Gneisses auf Spalten, zu deuten seien. Der Umstand indessen, dass man seit Gebrauch des

Mikroskops nach und nach *Mikropegmatite* als sehr wesentliche Structur- und Substanzantheile zahlreicher saurer und basischer (bis zu nur 48 Proc. SiO_2) Eruptivgesteine kennen gelernt hat, mahnt sehr zur Vorsicht. Auch die Schriftgranitgänge im Harzburger Gabbro hat manfür Ausscheidungsgänge in Anspruch genommen, es sind dies aber ganz zuverlässig nachweisbare Apophysen des Eruptivgranits; ja der Hauptgranit des Brockenmassivs ist grossentheils submikropegmatitisch ausgebildet. Die *bilateral symmetrische Lagentextur* mancher Makropegmatite, die man mit derjenigen vieler Erzgänge verglichen hat, beweist an und für sich nichts gegen die Eruptivnatur. Lagenstructur mit wechselnder chemischer Zusammensetzung besitzen Augite, Feldspäthe und andere Mineralien lavischer Gesteine, Lagenstructur mit einer vom Diabas- bis zum Granitporphyr wechselnden chemischen Mischung zeigen die gemischten Eruptivgänge, wie sie Bücking noch jüngst wieder so lehrreich aus dem Thüringerwald beschrieben hat. (Jahrb. d. kgl. preuss. geol. Landesanst. f. 1887, pag. 119 ff.) Auch für *die drusige Beschaffenheit und den Mineralreichthum der Gangmitte* mancher Pegmatite bieten die drusigen und mineralreichen Aussenhüllen echter Eruptivgranite Analogieen, wobei ein die Eruption begleitender oder nachfolgend ergänzender thermischer Vorgang immerhin complicirend einwirken mochte. Decimetergrosse *Riesensphaerolithe aus blumig blättrig gewachsenem Makropegmatit um einen porphyrartig als Centrum ausgeschiedenen Karlsbader Zwilling von Kalifeldspath* (Orthoklas oder Mikroklin), wie sie im Riesengebirgsgranit vorkommen, wiederholen im Grossen die submikroskopischen bis mikroskopischen Erscheinungen des Mikropegmatit gewisser Quarz- und Granitporphyre (der Granophyre Rosenbuschs): *alle diese Erscheinungen zwingen zur Annahme, dass ein Theil des Makropegmatits zum mindesten ganz zuverlässig sicher eruptiver Entstehung ist* und drängen uns die Frage auf, ob nicht in dieser Structur ein wichtiges Moment gegeben sei zur Aufklärung der Entstehung der Gneisse.

5. Welches sind die Unterschiede zwischen den *primären Erstarrungs-Structuren* der Plutonite und Vulkanite und den *Structuren*:

(*a*) der krystallinischen directen Sedimente;
(*b*) der Contactmetamorphosen an Graniten;
(*c*) der krystallinischen Schiefer?

6. Welche *sicheren* Kennzeichen hat man, um krystallinische *in situ* gebildete Körner von klastischen oder Sandkörnern, da wo sie in ein und demselben Gestein nebeneinander vorkommen, zu unterscheiden?

Die Beantwortung dieser Frage ist wohl schon früher mehrfach, unter Anderen von A. Wichmann in dankenswerther Weise, versucht worden, bedarf aber einer wiederholten, auf die neueren Erfahrungen gestützten Lösung. Am sichersten leitet wohl das Vorhandensein der sonst in dem Gestein als authigene Gemengtheile anwesenden Mineralien als Einschluss in dem Korn auf dessen authigene, nicht klastische (allothigene) Natur hin. Aeussere Formverhältnisse und innere Molecularverhältnisse zufolge von erlittenem Druck können dagegen sehr trügerisch sein. Harte Mineralien insbesonders kommen in sehr scharf begrenzten Krystallen als klastischer Sand vor (Quarz, Turmalin, Zircon, etc.).

7. Sind die Anschauungen der Autoren, welche gewisse Gneisse oder porphyroidische krystallinische Schiefer sich so entstanden vorstellen, als sei granitisches Magma *discontinuirlich* zwischen Schiefer injicirt worden, berechtigt?

8. Wenn diese Berechtigung ausgesprochen werden muss, wie sind solche durch Addition von Granit in *Discontinuo* und Schiefersediment entstandenen Gneisse oder Porphyroide sicher zu unterscheiden:

(*a*) Von echtem Eruptivgranit oder dessen porphyrischer Facies, beide unter Druckschieferung phyllitisch verändert?
(*b*) Von Schiefersediment mit auf wässerigem Wege ausgeschiedenen Silicatnestern oder -Krystallen (Quarz und Feldspath)?

9. Welche Unterschiede lassen sich geltend machen zwischen dem Mineralaggregat und Gestein eines echten Eruptivgranits und demjenigen eines zweifellos geschich-

teten (nicht blos plattig abgesonderten oder geschieferten) sogenanntes Lagergranits oder Granit-Gneiss?

Eine *Verquickung von Eruptivgranit mit dem Mineralaggregat der Contactmetamorphosen* kommt auch nach meinen Erfahrungen vor, eine wirkliche Discontinuität solchen granitischen Materials habe ich indessen noch nicht zuverlässig beobachtet. Es wäre sehr zu wünschen, dass die französischen Collegen, welche die sub 7. und 8. zur Frage gestellten Anschauungen oder ähnliche bestimmt vertreten, wie Michel-Lévy und Charles Barrois, durch gute Abbildungen makro- oder mikroskopischer Präparate uns darüber belehren wollten, wie weit auf diesem schwierigen Gebiete bereits eine *sichere Unterscheidung injicirten Eruptivgranit-Aggregats von metamorphischem Gneiss-Aggregat* möglich sei. Das würde zuverlässig auch die Beantwortung der unter 9. gestellten Frage erleichtern. Ohne eine sorgfältige Structur-Diagnose, die sich selbstverständlich immer nur auf das im Revier selbst gesammelte und seinem geologischen Werth nach erkannte Material stützen kann, wird eine Einigung hier nicht zu erzielen sein.

10. Giebt es zwischen den Gesteinen der Granit-Contactmetamorphose (Hornfelsen, Cornéenne, etc., vergl. sub 1.) und den Gesteinen der Regional- oder Dislocations- (Dynamo-) Metamorphose *absolute* substanzielle und structurelle Unterschiede oder nur *relative*, und welches sind diese?

Die präcise Beantwortung dieser Frage setzt vor Allem voraus, dass als Contactmetamorphosen nur solche Vorkommen in Betracht gezogen werden, welche in ihrem Auftreten zuverlässig an *sichtbare* Eruptivgesteine gebunden erscheinen. Auch darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass ursprüngliche Contactmetamorphosen *nachträglich* zufolge regionalmetamorphischer Einwirkung ihren eigenthümlichen Charakter verloren haben, wie ich dies für die Diabascontactgesteine der starkgefalteten Kerngebirge wahrscheinlich gemacht habe.* Dies vorausgeschickt bin ich persönlich geneigt nur *relative*, nicht absolute Unterschiede zuzugeben. Es leiten mich dabei nicht allein meine Erfahrungen aus dem Harz,

* Cf. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellschaft. 1887. S. 508 ff.

welche mich eine recht verschiedene Ausbildung der Gesteine der Granitcontactmetamorphose kennen gelehrt haben, je nachdem dieselben im Vorhof vor dem eigentlichen Contacthof oder in des letzteren äusserer, mittlerer oder innerer Zone anstehen, oder je nachdem sie dem undurchbrochenen, nur nachträglich durch die Erosion grossentheils abgetragenen und zerlappten äusseren Mantel der Eruptivstöcke angehören oder aber tief zwischen die Eruptivmassen eingesunkenen, bezw. rings von denselben umhüllten Schollen grösseren oder geringeren Umfangs. Es liegen diese verschiedenen Ausbildungsweisen zwischen einem phyllitischen Thonschiefer, ähnlich aber nicht gleich dem des regionalmetamorphen Südost-Harz, und Gneiss als Extremen, während die Hauptmasse der Schiefer- und Grauwackenhornfelse mit den gewöhnlicheren Structurvarietäten der erwiesener- oder — soweit es sich um das Archaicum handelt — mit mehr oder minder Recht vermuthetermaassen als Resultate des regionalen oder Dislocationsmetamorphismus betrachteten krystallinischen Schiefer wenig Aehnlichkeit besitzt. Es giebt aber in dem so classischen Gebiet des Erzgebirgs nach den sorgfältigen Untersuchungen unserer sächsischer Collegen, *dichte, hornfelsähnliche oder gar conglomeratische Grauwacken - Gneisse* (e. p. die Glimmertrappe älterer Autoren), welche die vermisste Analogie vollauf gewähren. Dieselbe gewährt aber auch Gosselet's unterdevonischen „*Cornéite*“ aus den regionalmetamorphischen belgischen Ardennen, wie dies schon der Name andeutet, der nur darum nicht *Cornéenne* lautet, um nicht das Missverständniss aufkommen zu lassen, als handle es sich um eine nachweisliche Contactmetamorphose. Auch die durch A. Renard's musterhafte Beschreibungen und Abbildungen in weiteren Kreisen bekannt gewordenen *Granat, Hornblende und Graphit haltigen* und dabei, gleich den metamorphischen Schichten des Oberharzes (Ockerthal) oder Norwegens, z. Th. *ganz deutlich Versteinerungen einschliessenden Unterdevonsedimente* der Ardennen erinnern sofort an *Hornfels*, obgleich weder für sie noch für die *cambrischen Granat-Wetzschiefer* von Viel-Salme in Eruptivcontact zu beobachten ist. Das Zusammenvorkommen solcher hornfelsähnlichen Gesteine mit denjenigen vom Typus der gewöhnlichen phyllitischen Regional-

metamorphose ruft das Auftreten der Kalksilicathornfelse im „Vorhofe,“ d. h. noch ausserhalb der äusseren Knotenschieferzone, um den Granit des Rammbergs in's Gedächtniss. Welche Erklärung man aber auch immer dafür geben möge — Gosselet giebt dieselbe ganz entschieden im Sinne der Dislocationsmetamorphose und nicht im Sinne einer latenten Contactmetamorphose —, soviel erhellt, dass gerade die Ardennen zur Beantwortung der hier gestellten Frage der Forschung wichtige Beiträge liefern werden.

HARRISON AND SONS,
PRINTERS IN ORDINARY TO HER MAJESTY,
ST. MARTIN'S LANE, LONDON.